

A diagram on a dark blue background showing Earth's internal structure and orbital motion. On the left, a cross-section of Earth is shown with a red core, a yellow mantle, and a blue and green crust. A white arrow indicates the Earth's axial tilt at 23 degrees. A dashed yellow line represents the Earth's orbit around the Sun, which is partially visible as a yellow circle in the bottom right corner. A dashed black line represents the Moon's orbit around Earth, with the Moon shown as a small blue and white sphere. A white star is visible in the background.

**АВСЮК Ю.Н.**

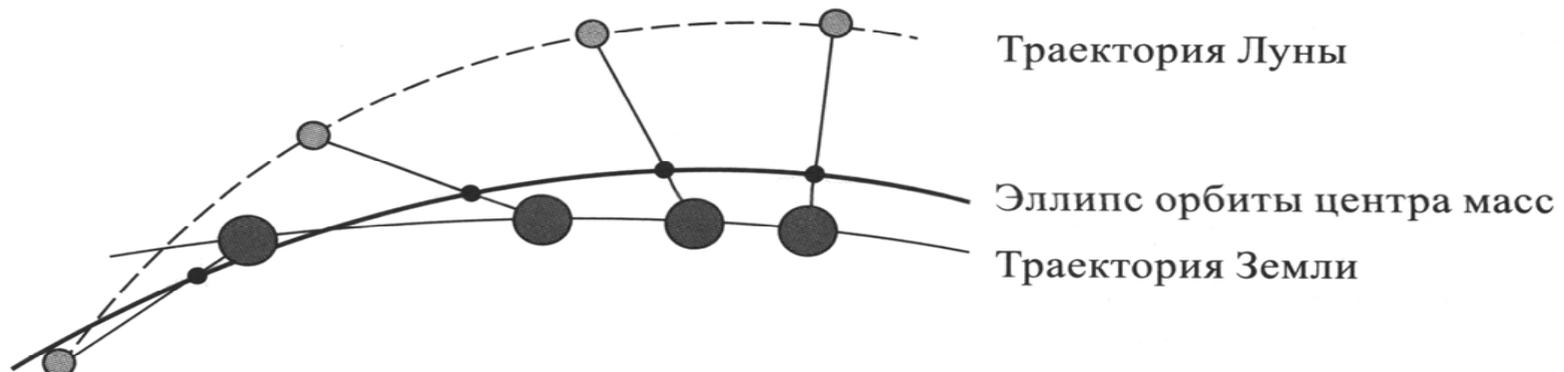
**ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИКИ.  
МЕСЯЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ  
ЗЕМЛИ ВОКРУГ ЦЕНТРА  
МАСС ЗЕМЛЯ–ЛУНА.**

*Учреждение Российской академии наук*

*Институт географии РАН*

Астрометристами регистрируется месячное движение Земли вокруг центра масс Земля-Луна. В книге “Астрономия” написано: «Земля и Луна притягивают друг друга. Под действием этого притяжения они движутся по орбитам, близким к окружностям, вокруг общего центра масс. Он находится на прямой, соединяющей центры Луны и Земли, на расстоянии около 4700 км от центра Земли (т.е. внутри Земли). Таким образом, Земля не только обращается вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси: ее центр описывает еще одну окружность радиуса, немного меньшего радиуса Земли. Строго говоря, именно центр масс системы Земля–Луна, а не центр Земли движется по эллипсу вокруг Солнца. В то же время центры Земли и Луны описывают в пространстве более сложную линию».

*А.В. Засов, Э.В. Кононович “Астрономия”. М.: Физматлит, 2008.*



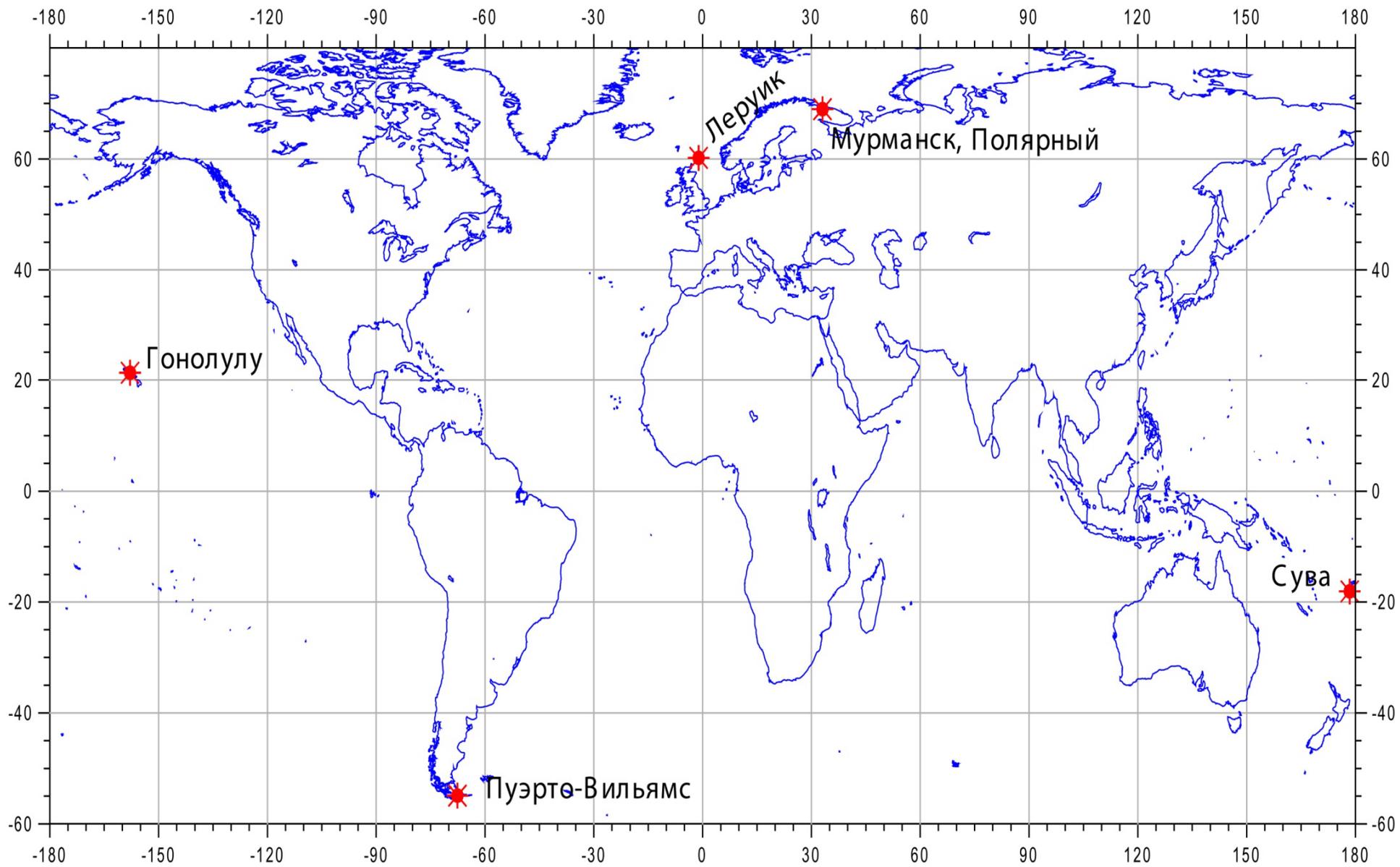
Движение Земли и Луны относительно Солнца (масштаб не соблюден)

***И. Ньютон “Начала”***

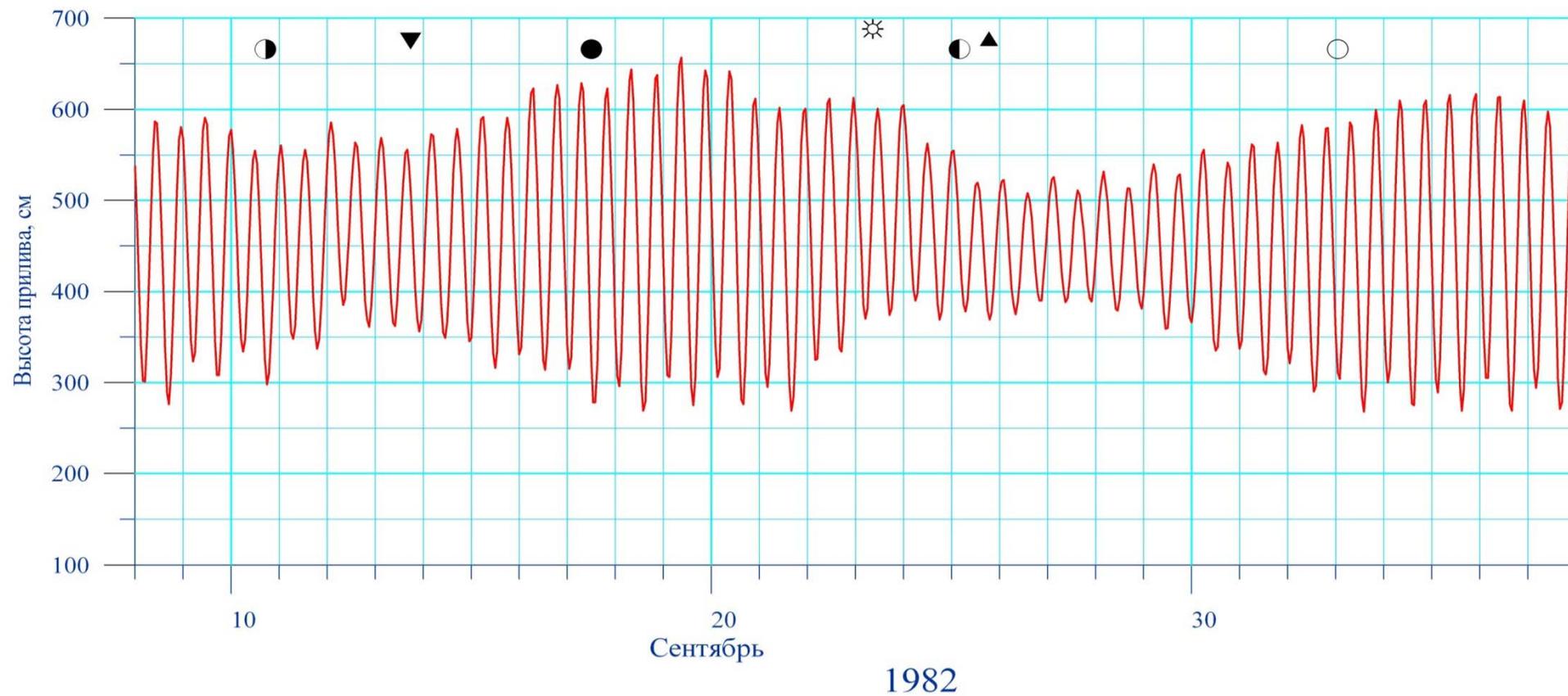
***Предложение XXV, Задача VI :***

**«Если рассматривать, что Земля и Луна обращаются вокруг их общего центра тяжести, то движение Земли возмущается подобными же силами».**

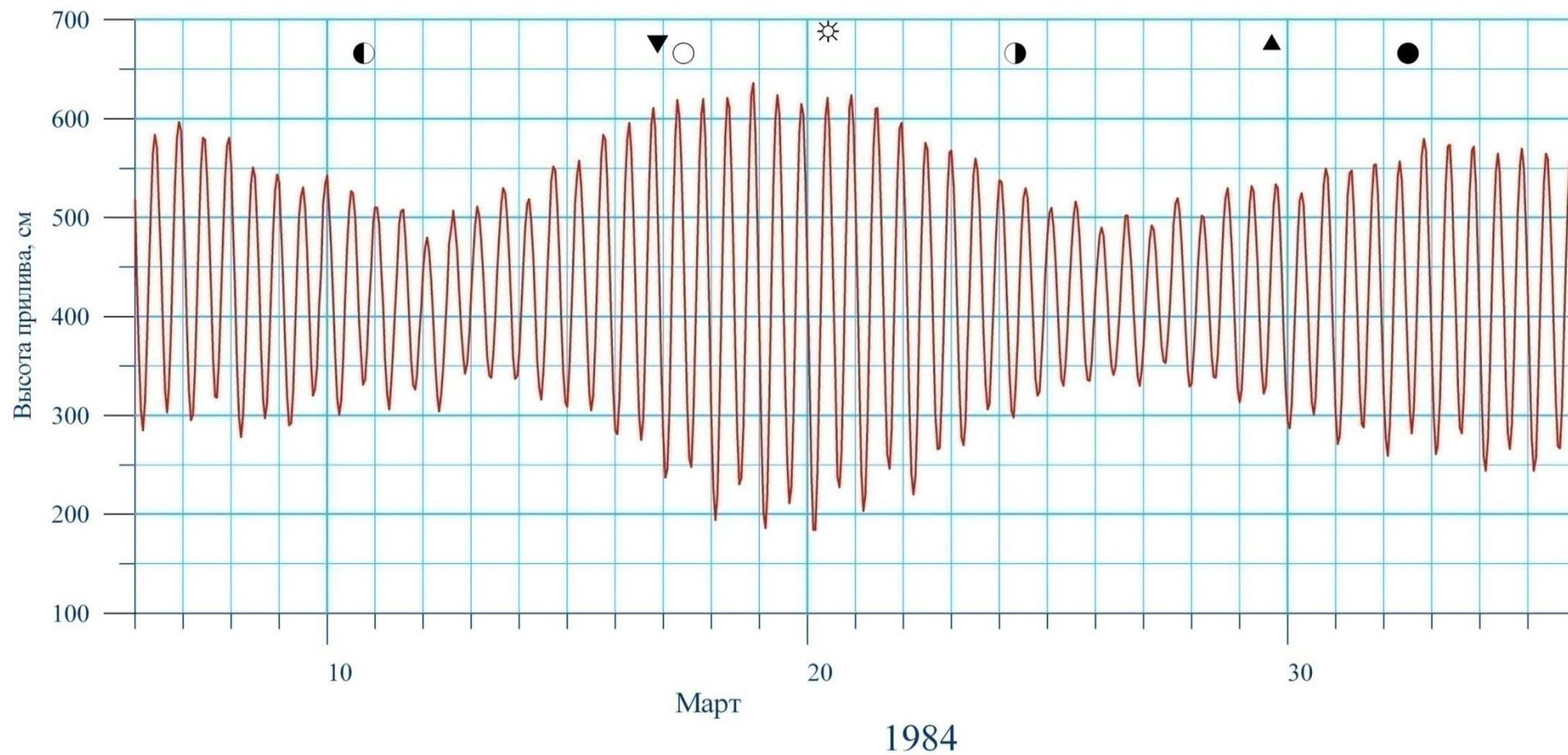
**Модуль возмущения Солнцем орбитального движения Луны характеризуется величиной  $1.5 \cdot 10^{-3}$  см/с<sup>2</sup>; Земли –  $19 \cdot 10^{-6}$  см/с<sup>2</sup>.**



# МУРМАНСК, высота прилива



# МУРМАНСК, высота прилива





Лаплас, излагая в книге XIII «Небесной механики» общий обзор теории приливов и отливов, между прочим, говорит:



**«В последующих изданиях «Начал» Ньютон почти ничего не добавил к теории приливов изложенной в первом издании; он принял лишь во внимание, при вычислении действия Луны, изменение расстояния Луны, производимое неравенством, называемое вариацией. Так как наибольший прилив происходит через  $1\frac{1}{2}$  сутки после сизигиев, то он счел, что при вычислении наибольшего прилива действие Солнца следует умножить на косинус удвоенного синодического движения Луны за этот промежуток времени...»**

И. Ньютон «Начала...»  
Перевод акад. А.Н. Крылова, Собр. соч. т. VII

	Невозмущенная величина	Возмущенная величина
Большая полуось	384400 км	$381500 \leq a_{\text{км}} \leq 387300$
Эксцентриситет	0.0549	$0.043 \leq \varepsilon \leq 0.067$
Наклон орбиты к эклиптике	$i = 5^{\circ}08'43''$	$4^{\circ}59' \leq i \leq 5^{\circ}17'$
Расстояние от Земли до Луны в перигее	363300 км	356400 – 370500 км
Расстояние от Земли до Луны в апогее	405500 км	404000 – 406730 км
Периодичность изменения долготы узла орбиты	18.6 лет (по	часовой стрелке)
Периодичность изменения долготы перигея	8.85 лет (против по прямому	часовой стрелки движению светил)
Изменение ориентировки перигея относительно узла орбиты	6 лет	
Среднее расстояние от центра масс Земли до центра Земля-Луна	4670 км	

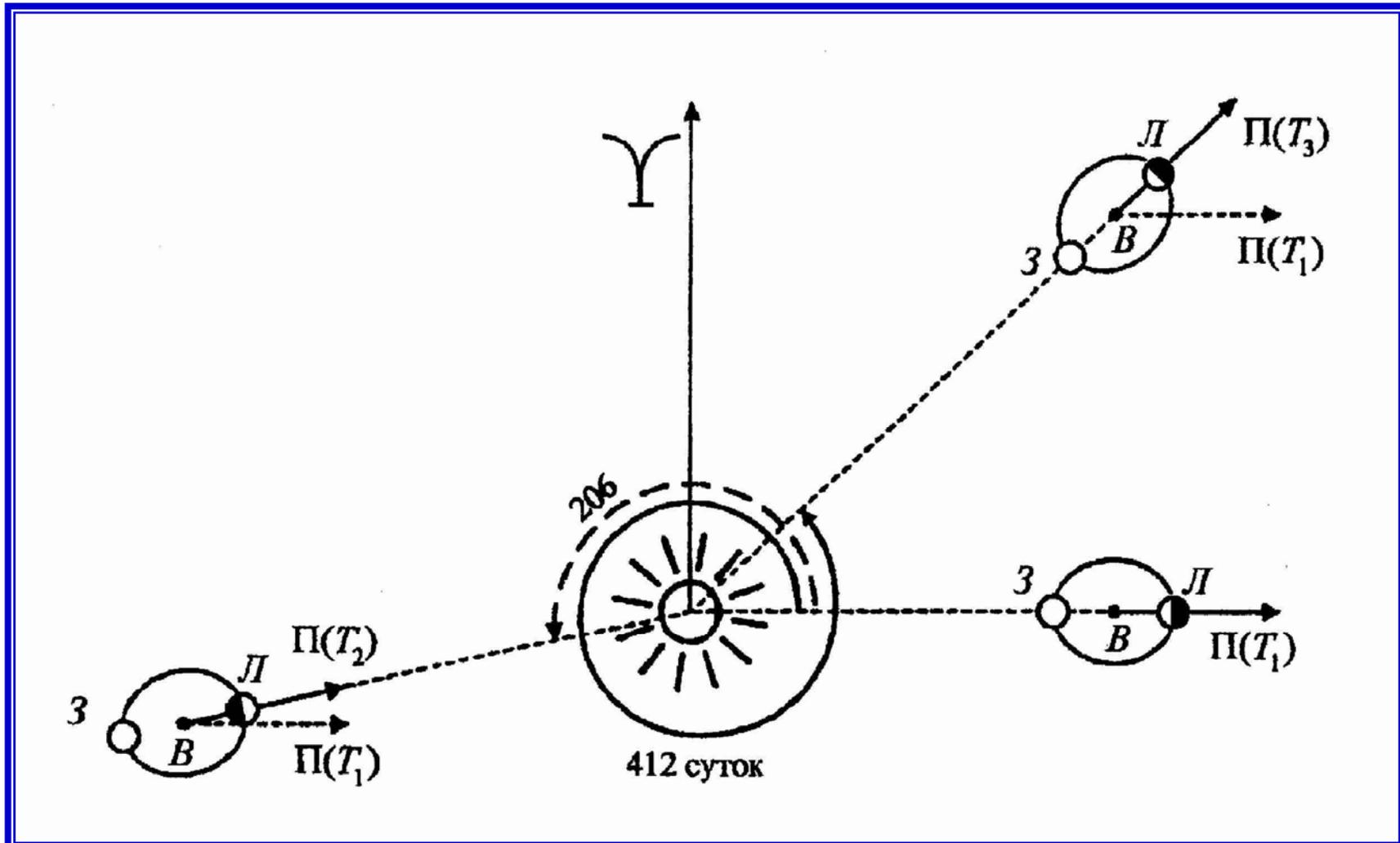
«Возмущения, испытываемые Луной со стороны Солнца, настолько велики, что ее невозмущенное движение нецелесообразно использовать в качестве первого приближения при решении уравнений движения».

*М.Ф. Субботин*

Приливная сила  $\bar{F}_n$ , действующая на пробную частицу массы  $\delta m$  исследуемого тела, равна векторной разности между силами гравитационного притяжения частицы  $\delta m$  внешними телами массы  $M_i$  и силы инерции этой частицы, представляющей собой ускорение центра масс исследуемого тела  $\bar{a}_0$ , умноженное на массу частицы, т.е.

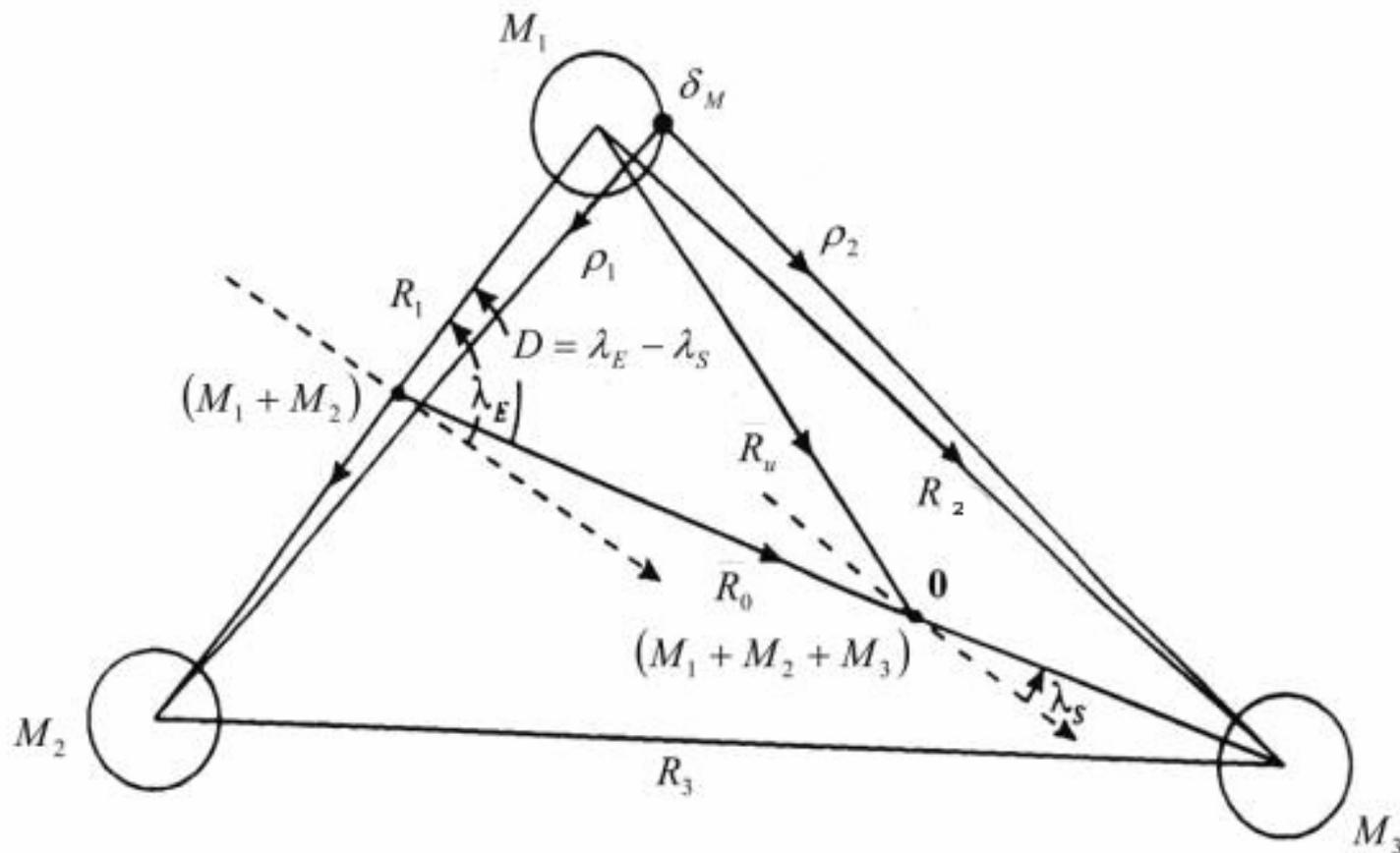
$$\bar{F}_n = \sum_1^n f \frac{M_i \delta m}{\rho_i^3} \cdot \bar{\rho}_i - \delta m \bar{a}_0$$

Ускорение  $\bar{a}_0$  в общем случае имеет невозмущенную (кеплерову) компоненту  $a_p$  и возмущения  $a_\tau$ .



## Конфигурация системы Земля-Луна-Солнце

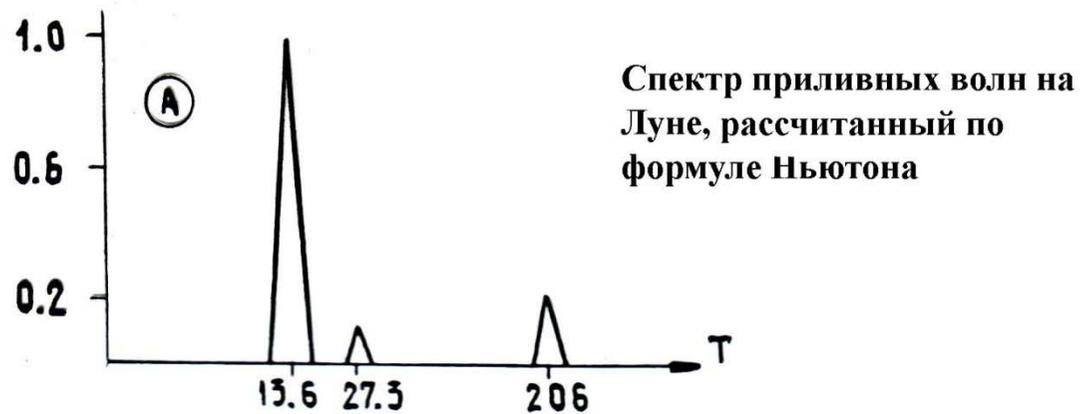
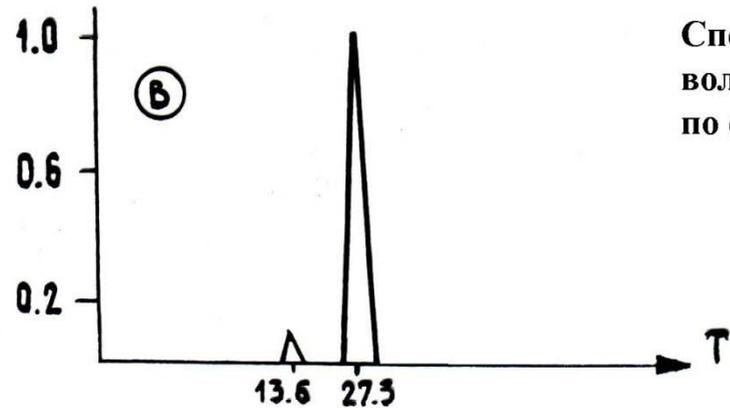
Перигей орбиты  $Л$  на момент  $T_1$  повторяется в момент  $T_3 = T_1 + 412$  суток.  
 $T_1$  - момент, соответствующий совпадению (для наглядности) начала года, полнолуния, прохождения Землей (Луной) перигея орбиты вокруг барицентра.



**Система Земля-Луна-Солнце (Земля –  $M_1$ , Луна –  $M_2$ , Солнце –  $M_3$ , центр масс Земля-Луна-Солнце – 0)  
 (В несколько измененном масштабе показано, что Земля  $M_1$ , также как Луна  $M_2$  обращаются вокруг центра масс  $M_1 + M_2$ .)**

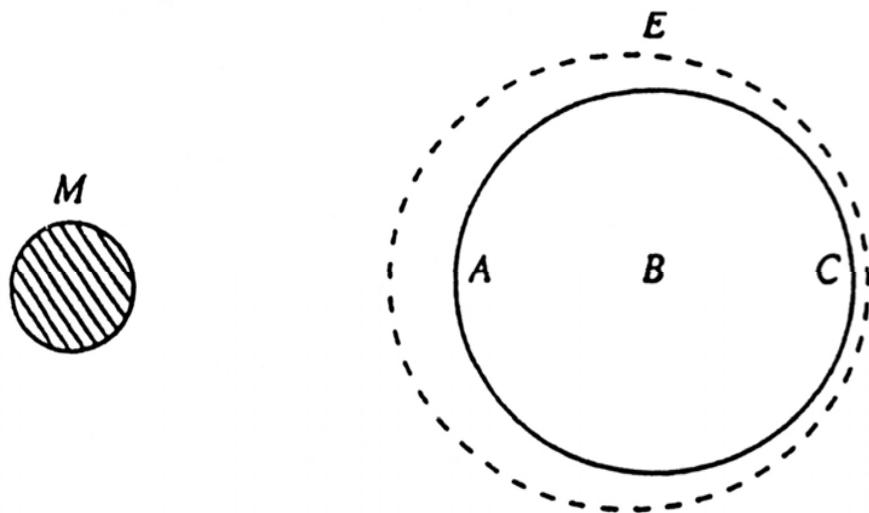
Компоненты  $F_L$ ,  $F_{SN}$ ,  $F_{EW}$  приливного воздействия Земли  $M_1$  и Солнца  $M_2$  на Луну с учетом возмущений Солнцем орбитального движения Луны (квадратные скобки) имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{F_L}{\delta m} &= f \frac{M_1 l}{r^3} \left( 3 \cos^2 z_1 - 1 \right) + f \frac{M_2 l}{R_0^3} \left( 3 \cos^2 z_2 - 1 \right) + \\ &\quad + \left[ 3 f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \cos D \cos z_2 - f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \cos z_1 \right] \\ \frac{F_{SN}}{\delta m} &= 3 f \frac{M_1 l}{r^3} \cos z_1 \sin z_1 \cos A_1 + 3 f \frac{M_2 l}{R_0^3} \cos z_2 \sin z_2 \cos A_2 + \\ &\quad + \left[ 3 f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \cos D \sin z_2 \cos A_2 - f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \sin z_1 \cos A_1 \right] \\ \frac{F_{EW}}{\delta m} &= 3 f \frac{M_1 l}{r^3} \cos z_1 \sin z_1 \sin A_1 + 3 f \frac{M_2 l}{R_0^3} \cos z_2 \sin z_2 \sin A_2 + \\ &\quad + \left[ 3 f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \cos D \sin z_2 \sin A_2 - f \frac{M_2 r_1}{R_0^3} \sin z_1 \sin A_1 \right] \end{aligned}$$



**Возмущения  
орбитального  
движения  
проявляются  
в процессах,  
регистрируемых  
на Луне**

Принципиально неверно объяснять приливную силу, считая Землю неподвижной и обращающихся вокруг нее Луну и Солнце.



Это замечание Э. Мах иллюстрирует рисунком, на котором показано, что в случае неподвижной Земли и обращающейся вокруг нее Луны приливная деформация океана имела бы “однобокий” вид. Э. Мах комментирует рисунок следующими словами: «Таким образом в точке А вес воды уменьшился бы, а в точке С – понизился бы, и вода поднялась только на стороне, обращенной к Луне».

И тем не менее объяснение приливного воздействия Луны и Солнца во всех учебниках по геофизике проводится в предположении, что Земля неподвижна.

**Исаак Ньютон в Предложении XXV,  
Задача VI “Начал” отметил:**

**«Если рассматривать, что Земля и  
Луна обращаются вокруг их общего  
центра тяжести, то движение Земли  
возмущается подобными же силами».**

# НЕРАВЕНСТВА ЛУННЫХЪ МѢСЯЦЕВЪ

---

ИЗСЛѢДОВАНІЕ

Кн. Н. Долгорукова.

---

(Приложеніе къ Извѣстіямъ Русскаго Астроном. Общества за 1912 г.).



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрлихъ (влад. А. Э. Коллинсъ) М. Дворянская, 19.  
1912.

# Неравенства лунных месяцев

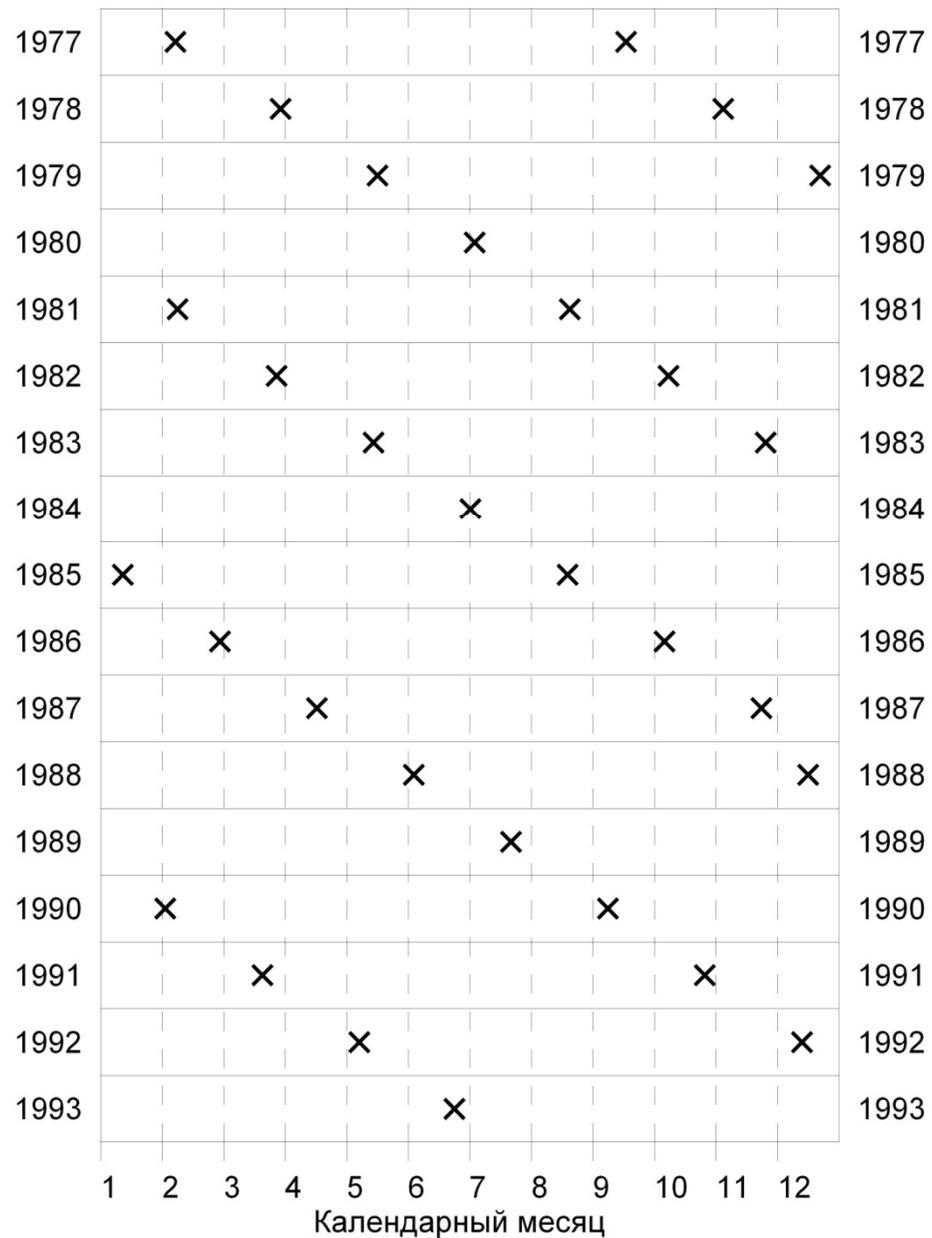
## Исследования кн. Н. Долгорукова . С.Петербург, 1912 г.

Звездные месяцы		Аномалистические месяцы		Примечания
1908 год				
1 февр. – 29 февр.	27 <sup>d</sup> 11 <sup>h</sup> .25	24/VII – 21/VIII	28 <sup>d</sup> 6 <sup>h</sup> .8	Полнол. 18 янв. 1 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> .9 Апогей 18 янв. 14 <sup>h</sup> . Перигей 1 февр. 14 <sup>h</sup> .7
2 марта – 29 марта	27 10 .95	21/VIII – 18/IX	27 20 .8	
31 марта – 28 апр.	27 9 .91	18/IX – 14/X	25 22 .7	
30 апр. – 27 мая	27 8 .69	<b>14/X – 8/ XI</b>	<b>25 15 .7</b>	Апогей 7 мая 17 <sup>h</sup> .9
29 мая – 25 июня	27 7 .54	8/XI – 6/XII	27 20 .7	
1 февр. – 29 февр.	27 6 .65	6/XII – 4/I	28 9 .9	
1908 год				
28 июня – 25 июля	27 6 .10	4/I – 1/II	28 13 .1	
27 июля – 24 авг.	27 5 .93	1/II – 1/III	27 15 .7	
26 авг. – 22 сент.	27 6 .18	1/III – 29/III	28 2 .4	
25 сент. – 22 окт.	27 6 .92	29/III – 25/IV	26 21 .1	
24 окт. – 21 ноября	27 8 .05	<b>25/IV – 20/V</b>	<b>25 1 .1</b>	
23 ноября – 20 дек.	27 9 .35	20/V – 16/VI	27 8 .5	
22 дек. – 19 янв.	27 10 .5	16/VI – 14/VII	28 2 .9	
1909 год				
21 янв. – 17 февр.	27 11 .14	14/VII – 11/VIII	28 8 .8	Перигей 20 февр. 11 <sup>h</sup> .4 Перигей 20 марта 23 <sup>h</sup> .4
19 февр. – 19 марта	27 11 .13	11/VIII – 9/IX	28 11 .2	
21 марта – 17 апр.	27 10 .56	9/IX – 7/X	28 8 .1	
19 апр. – 17 мая	27 9 .66	7/X – 4/XI	27 20 .8	Апогей 25 июня 0 <sup>h</sup> .4
19 мая – 15 июня	27 8 .47	4/XI – 30/XI	25 14 .5	
17 июня – 14 июля	27 7 .54	<b>30/XI – 26/XII</b>	<b>25 22 .2</b>	
16 июля – 13 авг.	27 6 .66	26/XII – 23/I	27 23 .8	

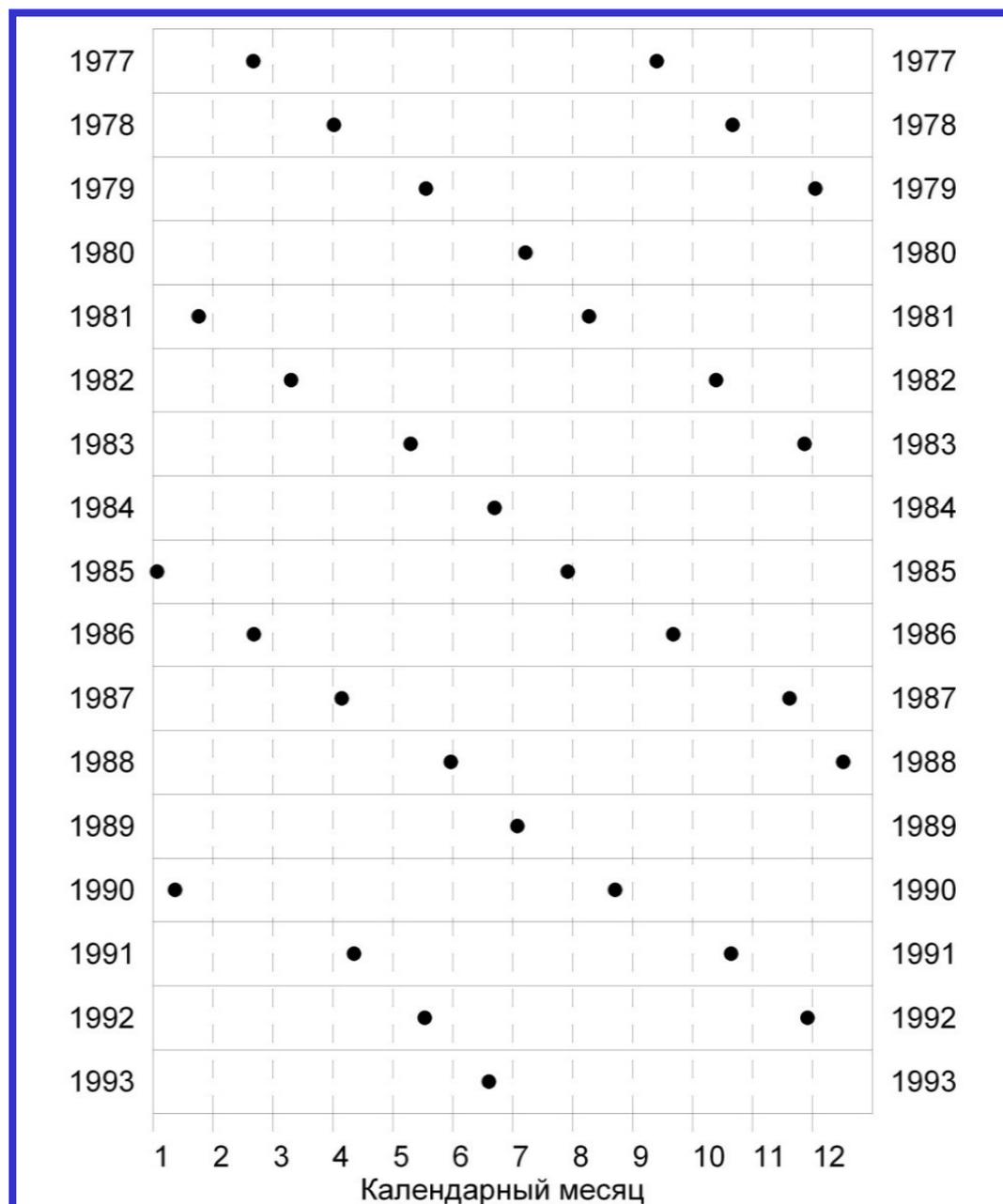
## Изменение продолжительности аномалистического месяца в течение года и от года к году

ГОД	КАЛЕНДАРНЫЙ МЕСЯЦ											
	январь 01	февраль 02	март 03	апрель 04	май 05	июнь 06	июль 07	август 08	сентябрь 09	октябрь 10	ноябрь 11	декабрь 12
1957	28.40	28.53	28.45	28.12	27.10	25.04 27.15	28.06	28.35	28.44	28.36	27.92	25.74
1958	<u>25.77</u>	27.96	28.41	28.50	28.39 28.06	27.06	<del>25.08</del>	27.15	28.09	28.41	28.50	28.39
1959	27.86	<del>25.36 26.17</del>	28.00	28.37	28.44	28.34	28.04	27.08	<del>25.02</del>	27.19	28.16 28.47	28.53
1960	28.36	27.71	<del>25.18</del>	26.48	27.97	28.32	28.40	28.34	28.07 27.04	<del>24.88</del>	27.36	28.26
1961	28.52	28.52	28.29	27.55	<del>25.19</del>	26.60 27.94	28.30	28.42	28.39	28.12	26.94	<u>24.79</u>
1962	27.56	28.33	28.51	28.46	28.20 27.47	<u>25.27</u>	26.60	27.93	28.33	28.46	28.43	28.12
1963	26.66 <u>24.96</u>	27.70	28.32	28.45	28.39	28.15	27.45	<del>25.25</del>	26.63	27.98	28.39 28.53	28.46
1964	28.05	26.27	<u>25.31</u>	27.75	28.28	28.41	28.37	28.16	27.47 <u>25.09</u>	26.72	28.08	28.47
1965	28.56	28.42	27.93	26.07	<u>25.59</u>	27.72 28.23	28.39	28.38	28.20	27.48	<u>24.86</u>	26.93
1966	28.18	28.49	28.52	28.34	27.82 25.99	<u>25.76</u>	27.70	28.23	28.41	28.43	28.24	27.38

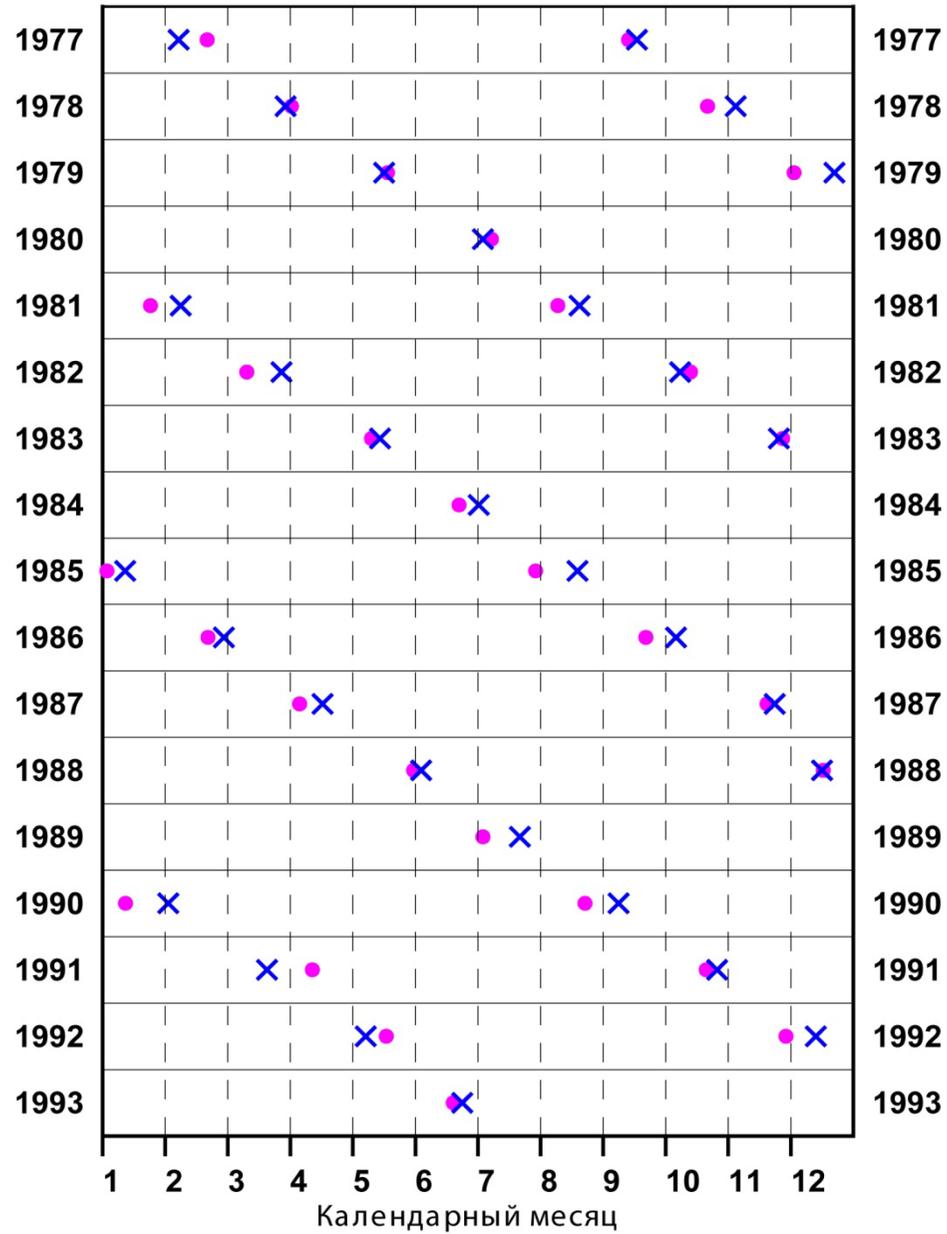
## Чередование минимальных аномалистических месяцев (24.6--25.6 суток), 1977 - 1993 гг.



Разность размахов морского прилива в Мурманске, 1977–1993 гг.  
 $\varphi=68^{\circ}97'$ ;  $\lambda=33^{\circ}05'$   
(равенство размаха в полнолуние  $180^{\circ}$  и размаха в новолуние  $0^{\circ}$ )



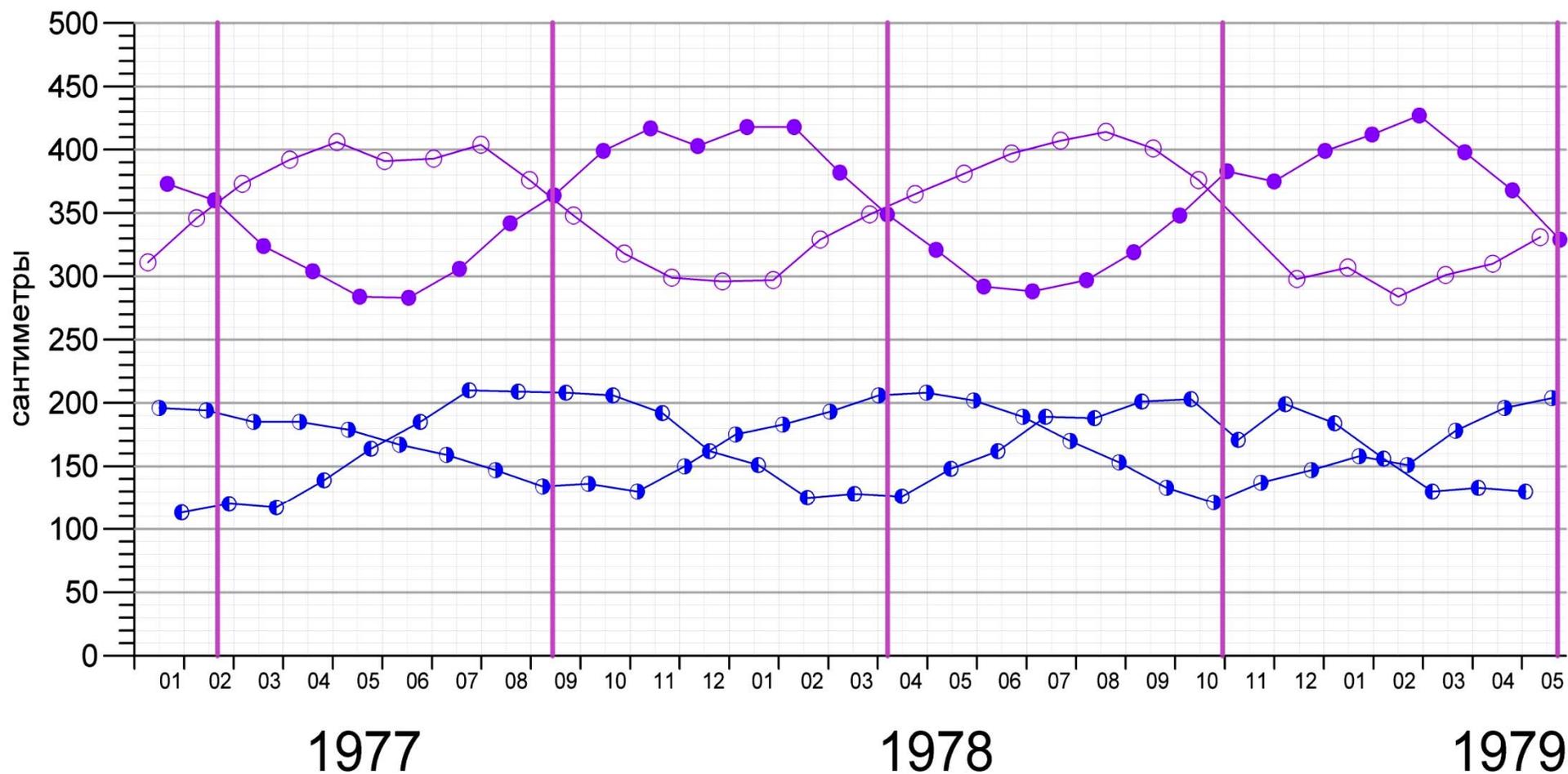
● Переход разности размахов через нуль  
× Минимальный аномалистический месяц



# *Океанский прилив в п. Мурманск.*

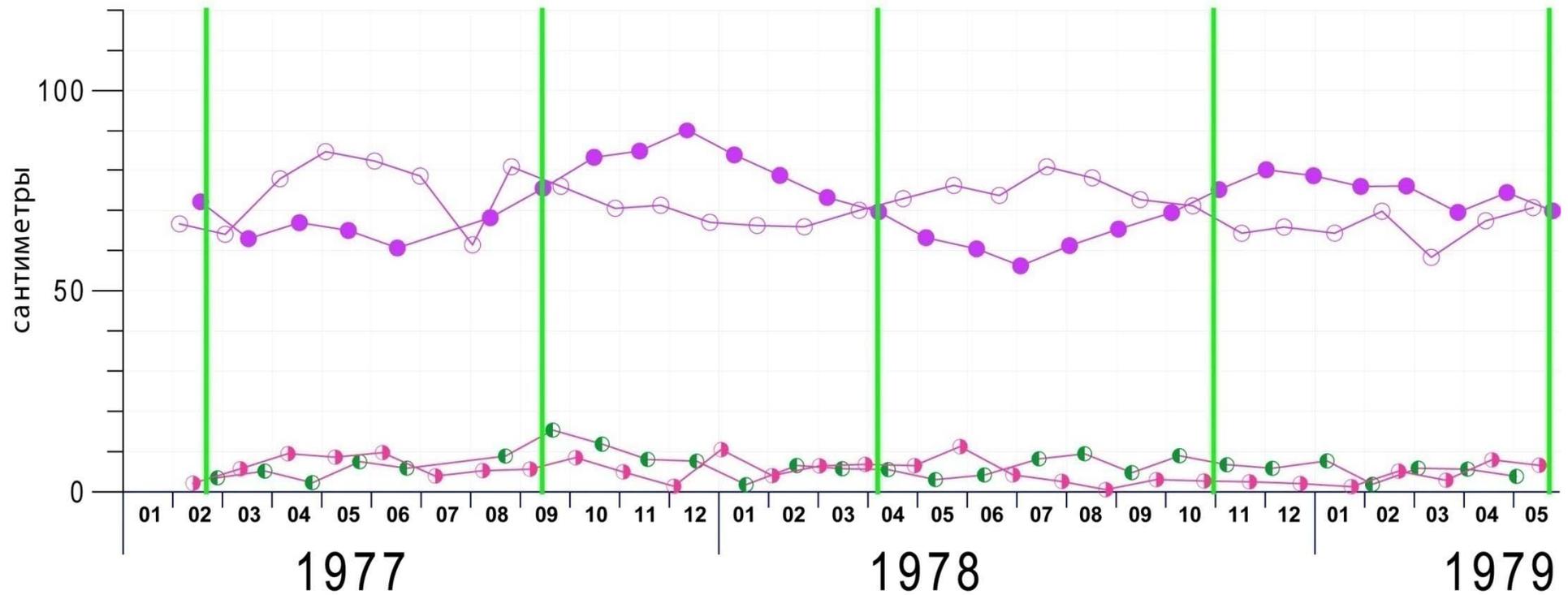
## *Периодичность равенства высоты океанского прилива в полнолуние и в новолуние*

Размах сизигийных (●, ○) и квадратурных (◐, ◑) морских приливов в Мурманске



## Океанский прилив в п. Гонолулу.

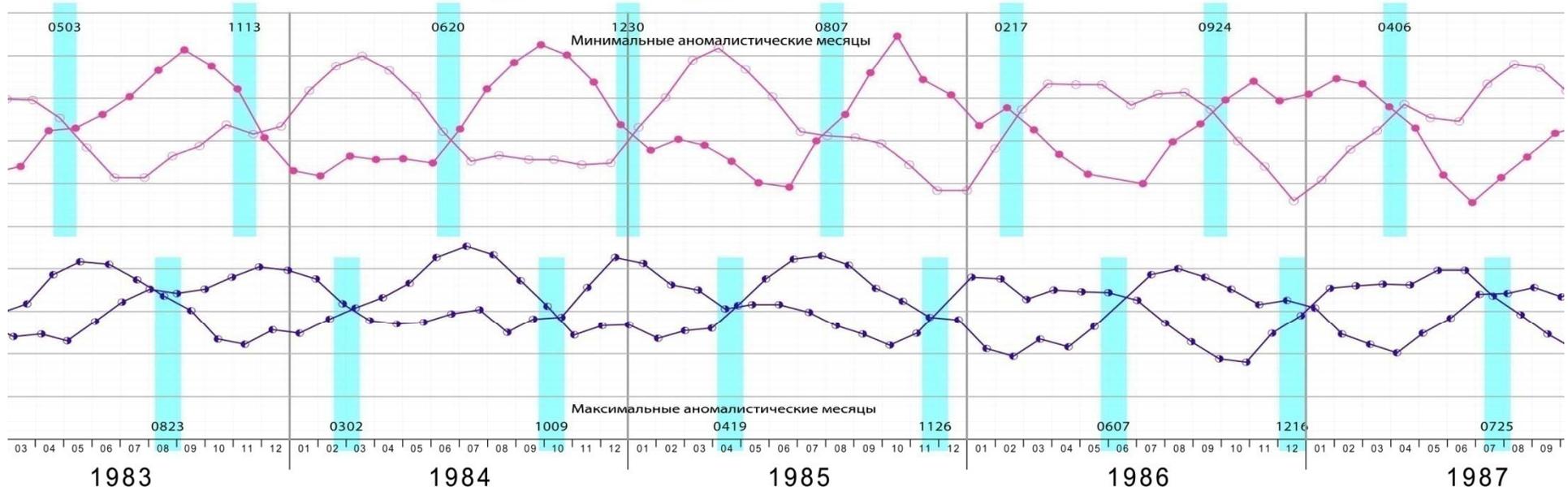
Размах сизигийных (●, ○) и квадратурных (●, ○) морских приливов в Гонолулу  
 $\varphi = 21.3$  с.ш.  $\lambda = 157.9$  з.д.



# МУРМАНСК

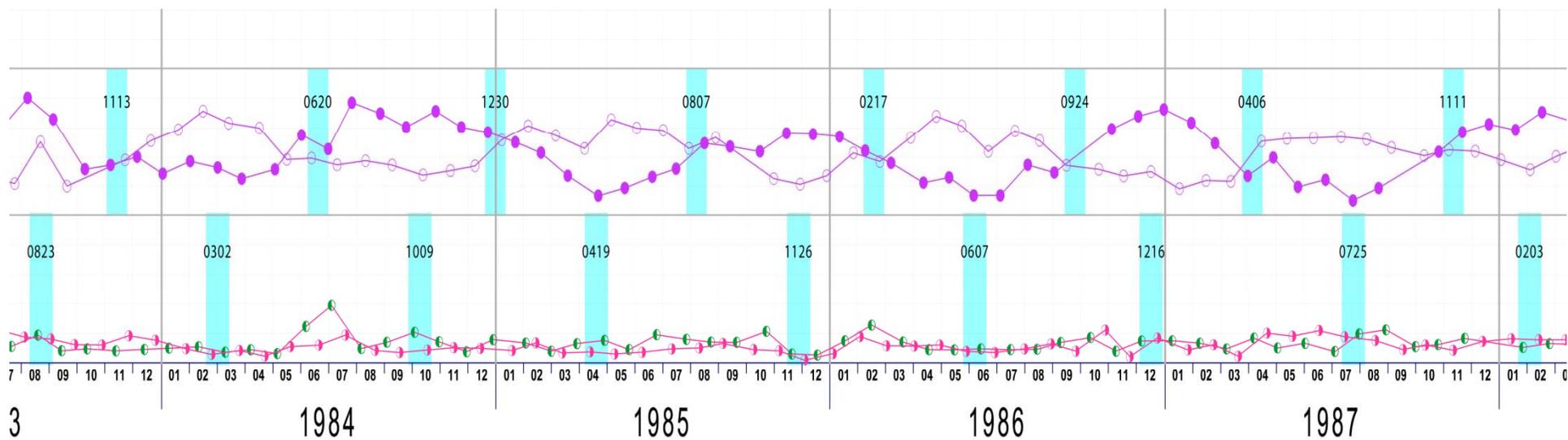
$\varphi=69.0$  с.ш.  $\lambda=33.0$  в.д.

Размах сизигийных (●, ○) и квадратурных (◐, ◑) морских приливов в Мурманске ( $\varphi=69.0$   $\lambda=33.0$ )



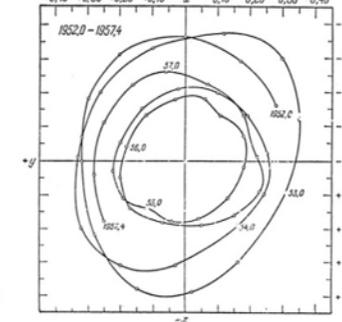
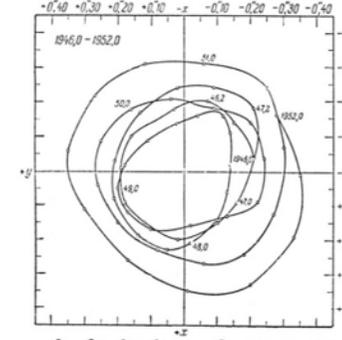
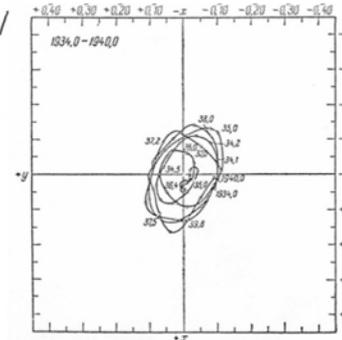
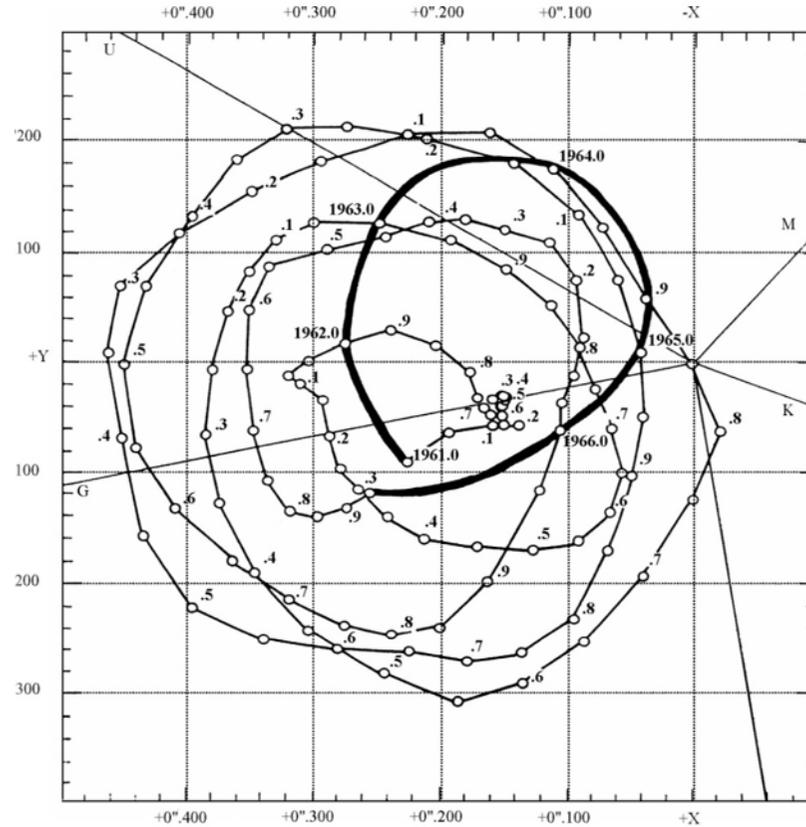
# ГОНОЛУЛУ

$\varphi=21.3$  с.ш.  $\lambda=157.9$  з.д.

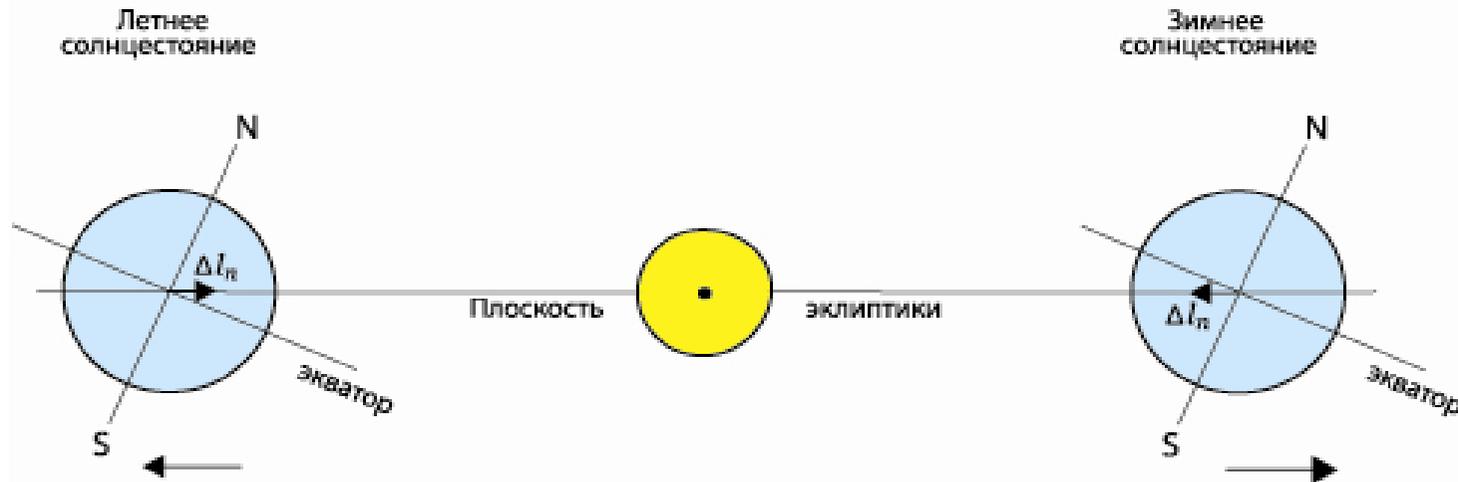


«Причина или причины возбуждения чандлерова качания одна из наиболее интригующих проблем геофизики. После столетия наблюдений и исследований движений полюса мы не продвинулись с позиций понимания возбуждения и демпфирования чандлеровой составляющей, которыми располагали сто лет назад».

Ранкорн, Уилкинс, Гротен...



# Z-член

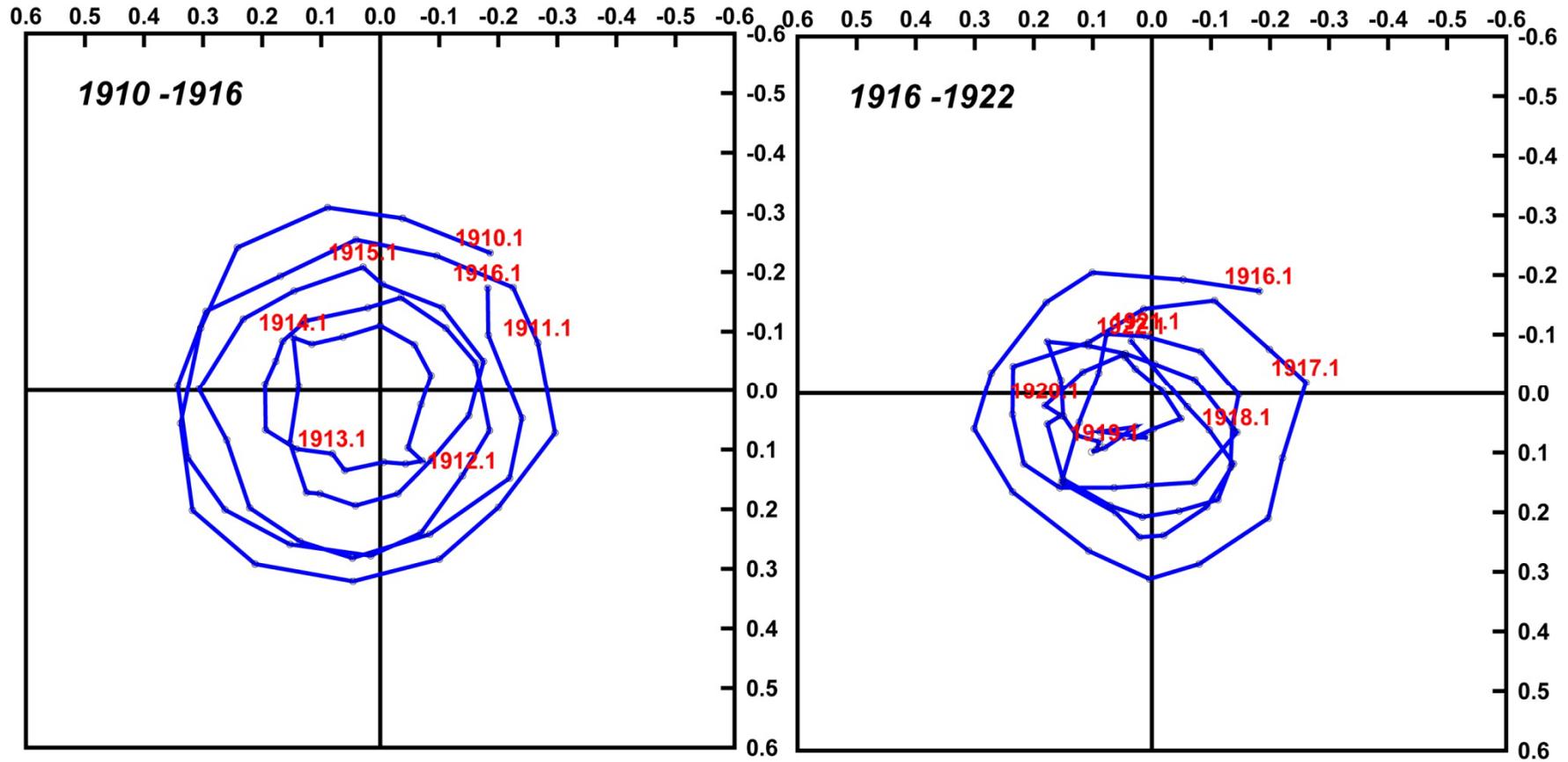


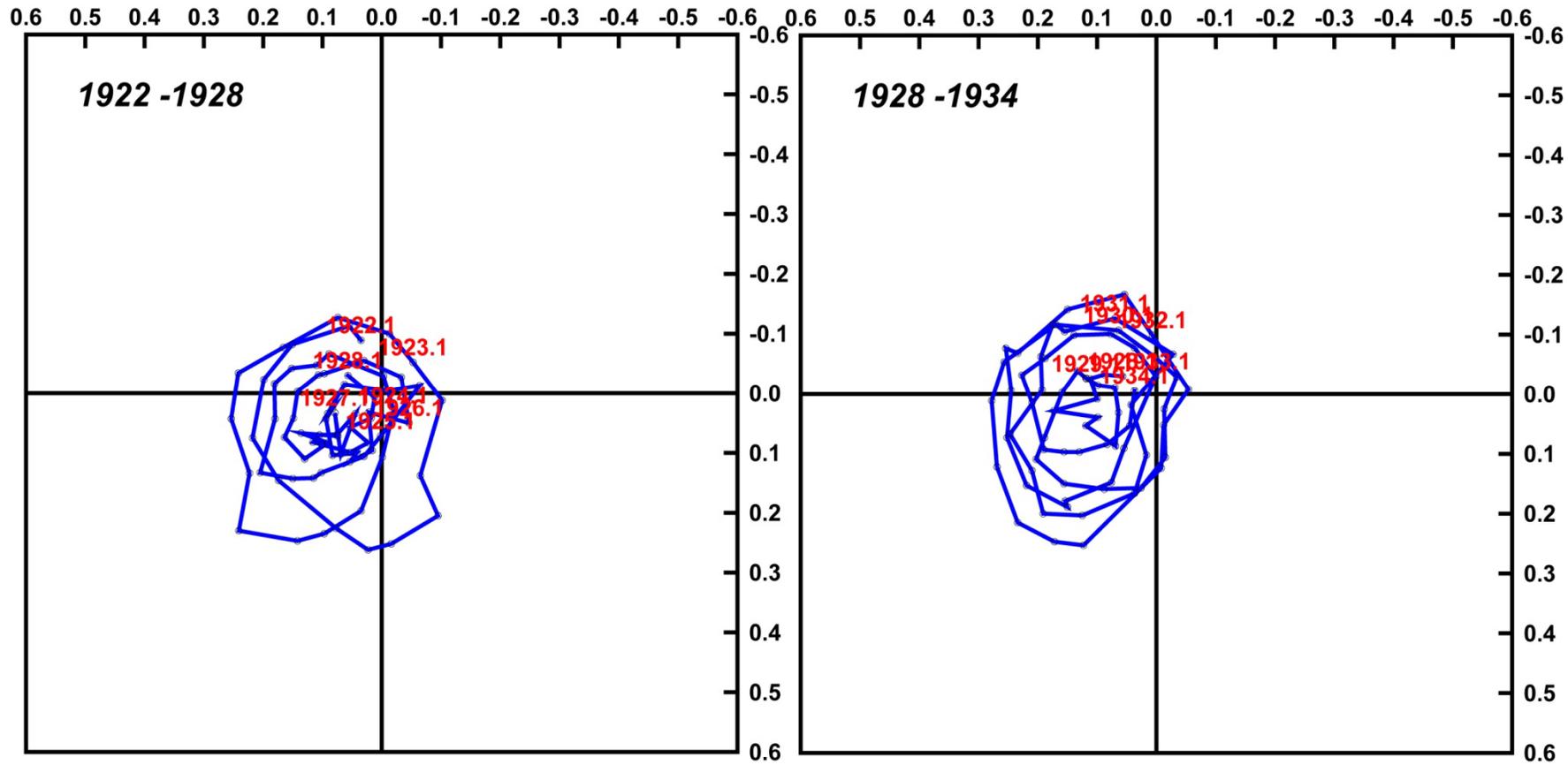
**«Широты всех шести обсерваторий Геодезической ассоциации изменяются одновременно на одну и ту же величину, причем они одновременно уменьшаются или увеличиваются, и это изменение имеет годовой период.**

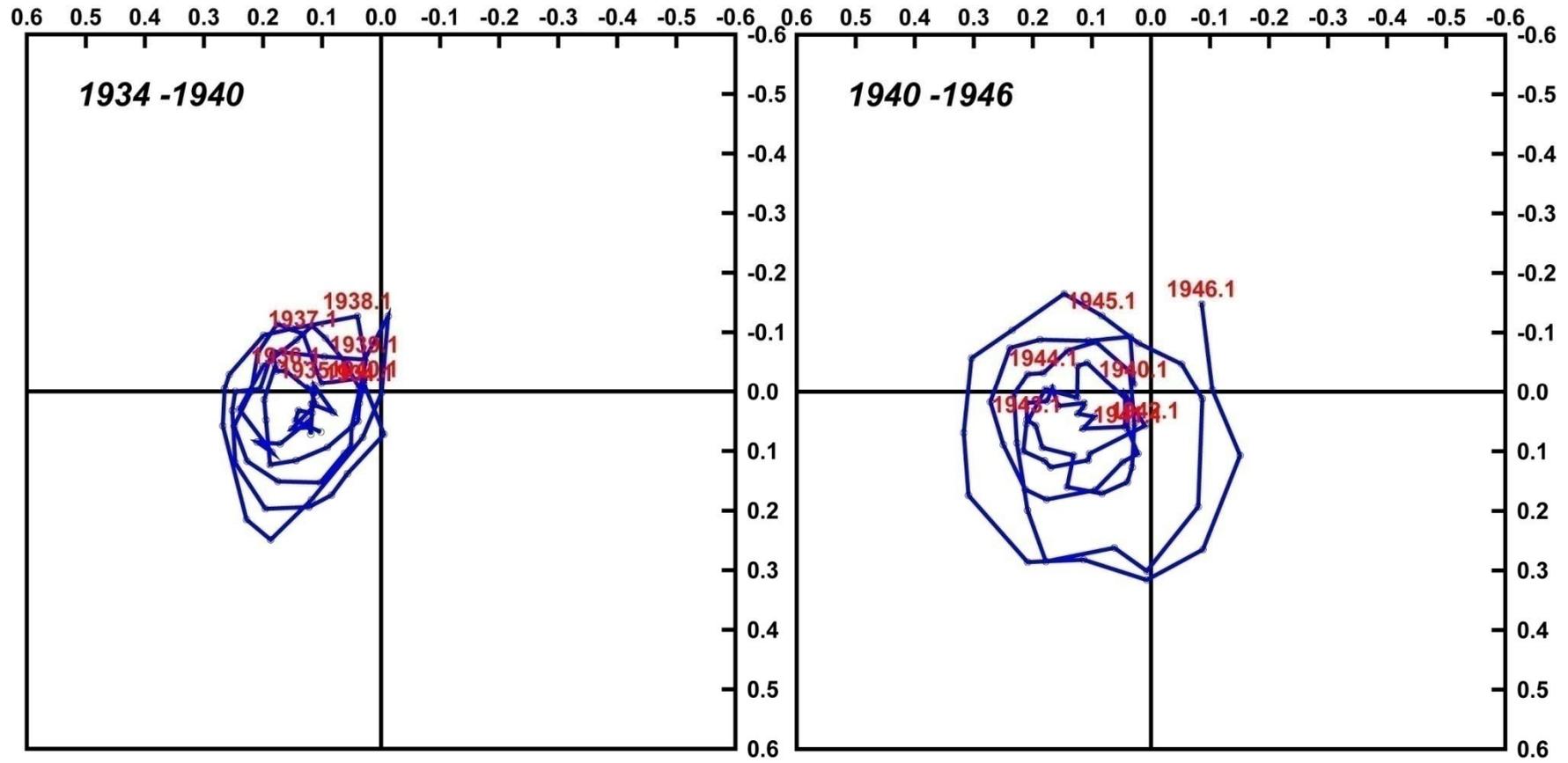
**...Для того чтобы объяснить самый размер явления, было бы достаточно перемещения центра тяжести Земли на 12 футов, или 360 см.**

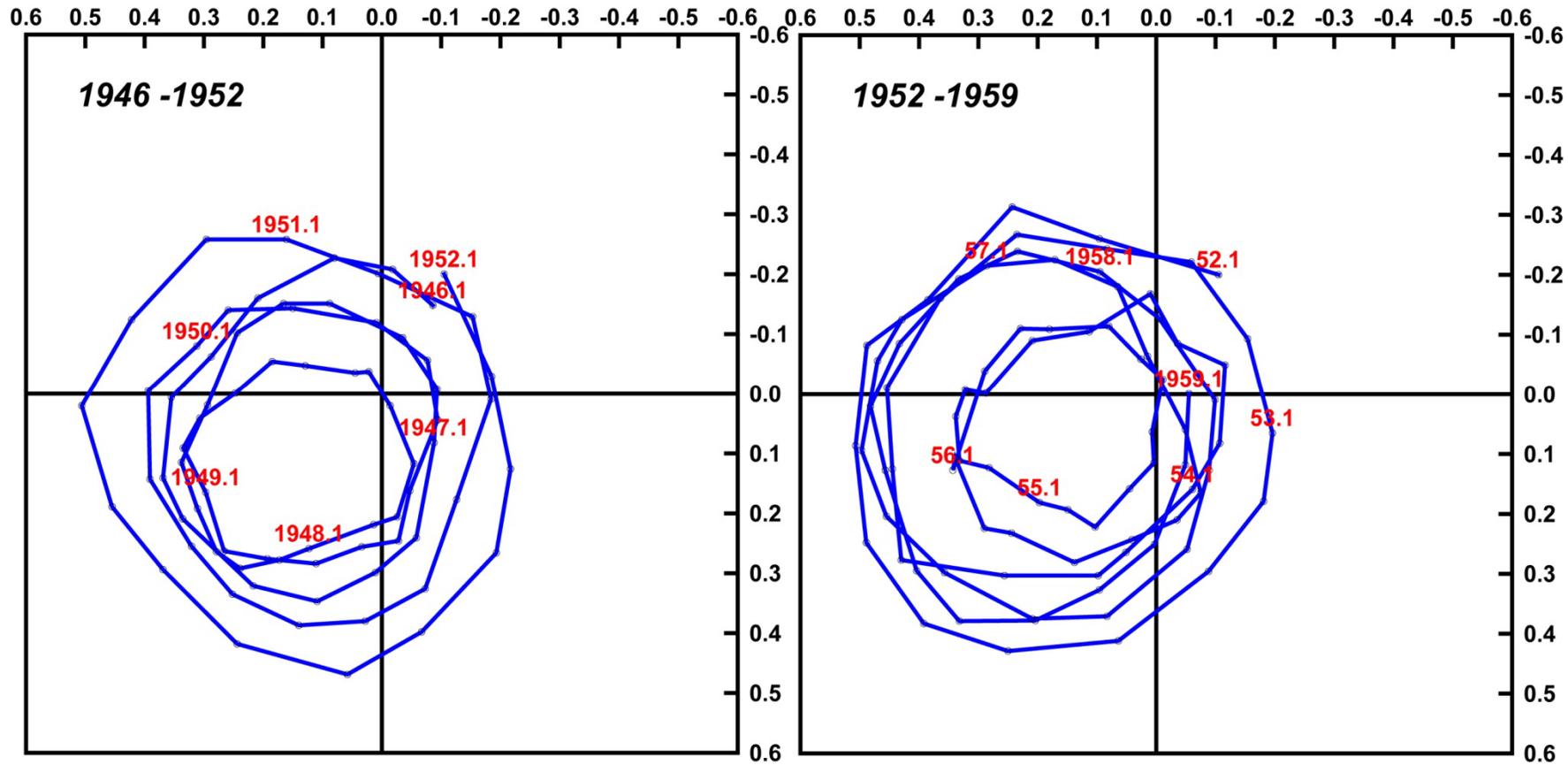
**...Специально были организованы наблюдения на южных обсерваториях в течение двух лет и результатом было то, что южные обсерватории дали точно такие же показания, как и северные. Реальность этого странного рода колебаний широты, таким образом, по-видимому, хорошо установлена... и до сих пор мы должны принимать этот факт, как еще неразрешенную тайну».**

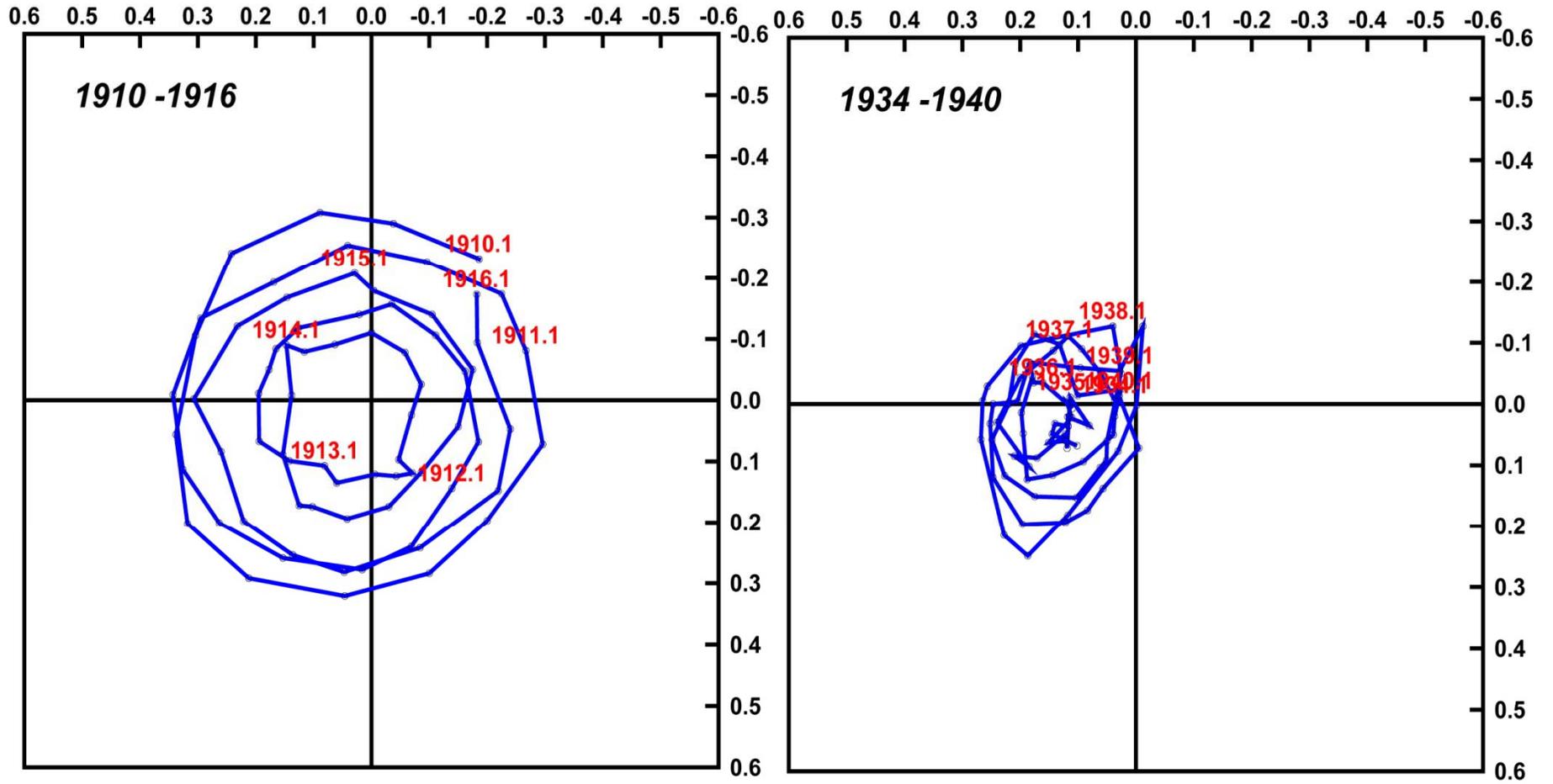
**Дж.Г. Дарвин “Приливы и родственные им явления в Солнечной системе”.**





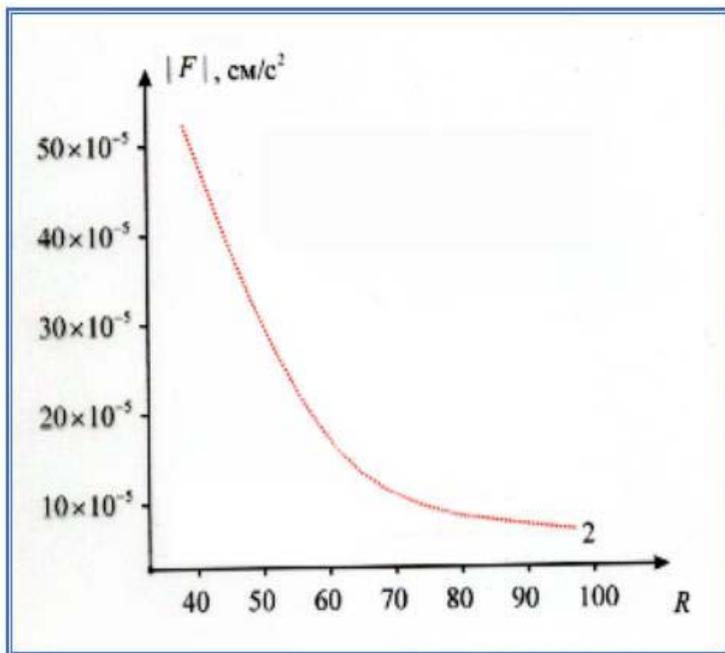






**«Признание, которое получило в последнее время существование циклических приливных ритмов, открывает возможности нового подхода к определению динамической истории системы Земля-Луна. Позднепротерозойские (~650 млн. лет назад) ритмы в осадконакоплении, известные по данным по южной Австралии, представляют собой сохранившиеся записи палеоприливных циклов продолжительностью около 60 лет».**

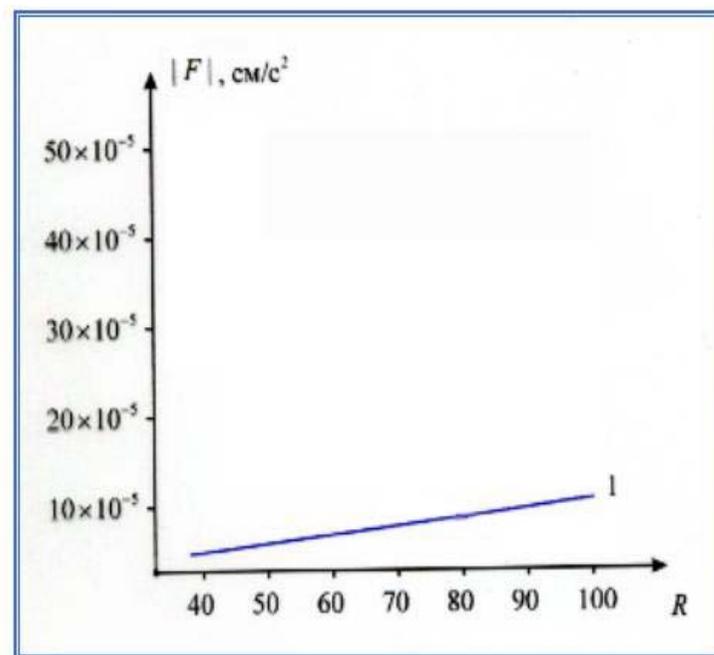
***Дж.Е. Уильямс «Приливные ритмы:  
ключ к истории вращения Земли  
и эволюции лунной орбиты».***



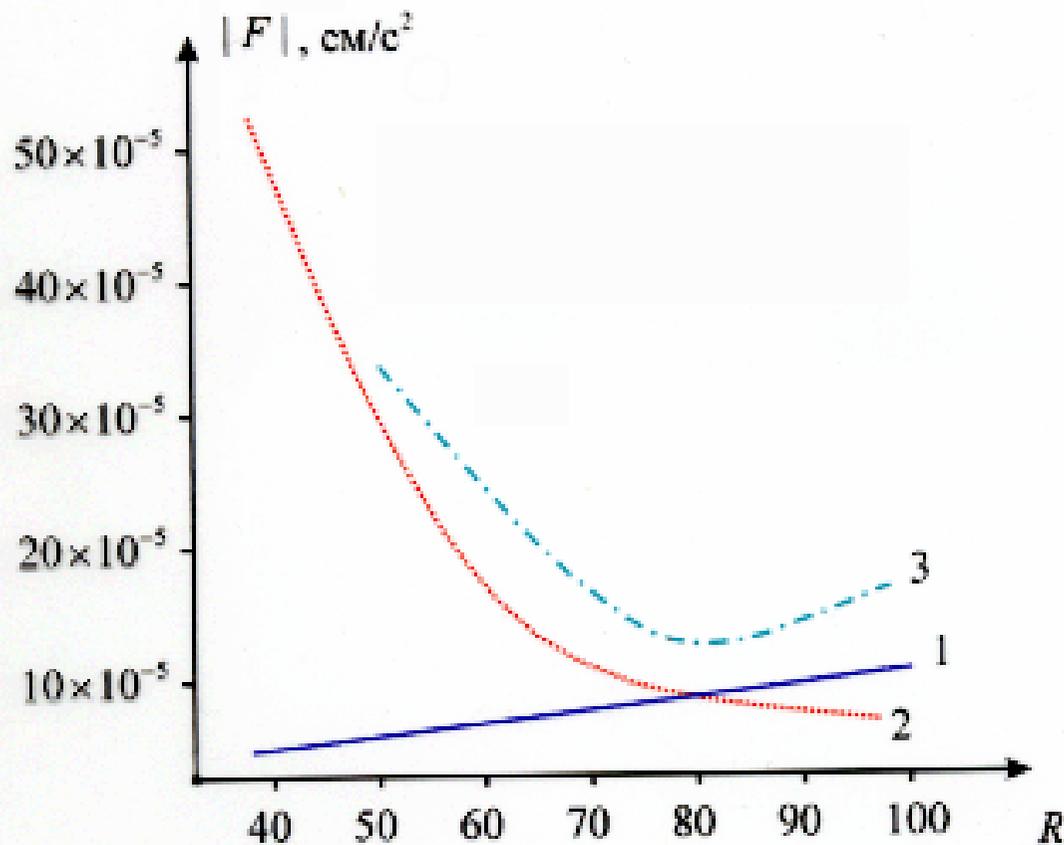
Уменьшение кеплеровой части приливного воздействия Луны на Землю с изменением расстояния Земля–Луна.

«Если рассматривать, что Земля и Луна обращаются вокруг их общего центра тяжести, то движение Земли возмущается подобными же силами».

*И. Ньютон “Начала”  
Предложение XXV, Задача VI.*

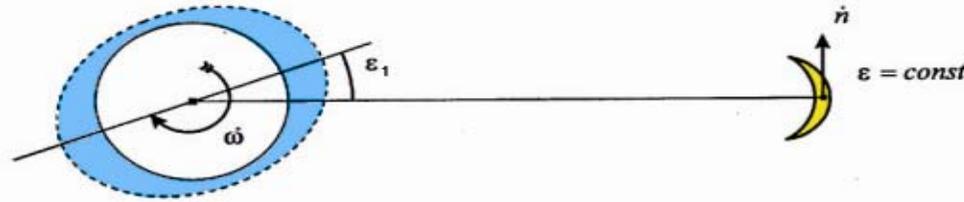


Рост возмущения  $|F|$  с изменением расстояния Земля–Луна.

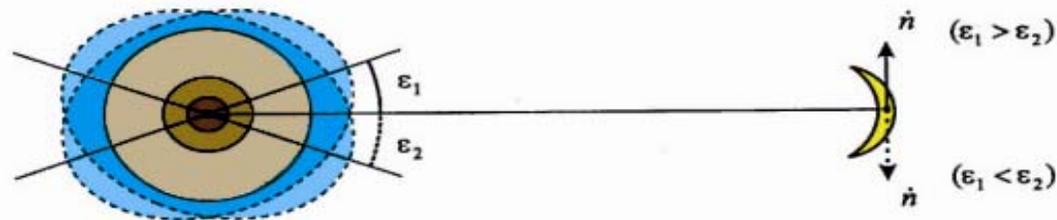


**Изменение приливного воздействия Луны и Солнца на Землю при эволюционном изменении расстояния Земля–Луна (в радиусах Земли  $R$ )**

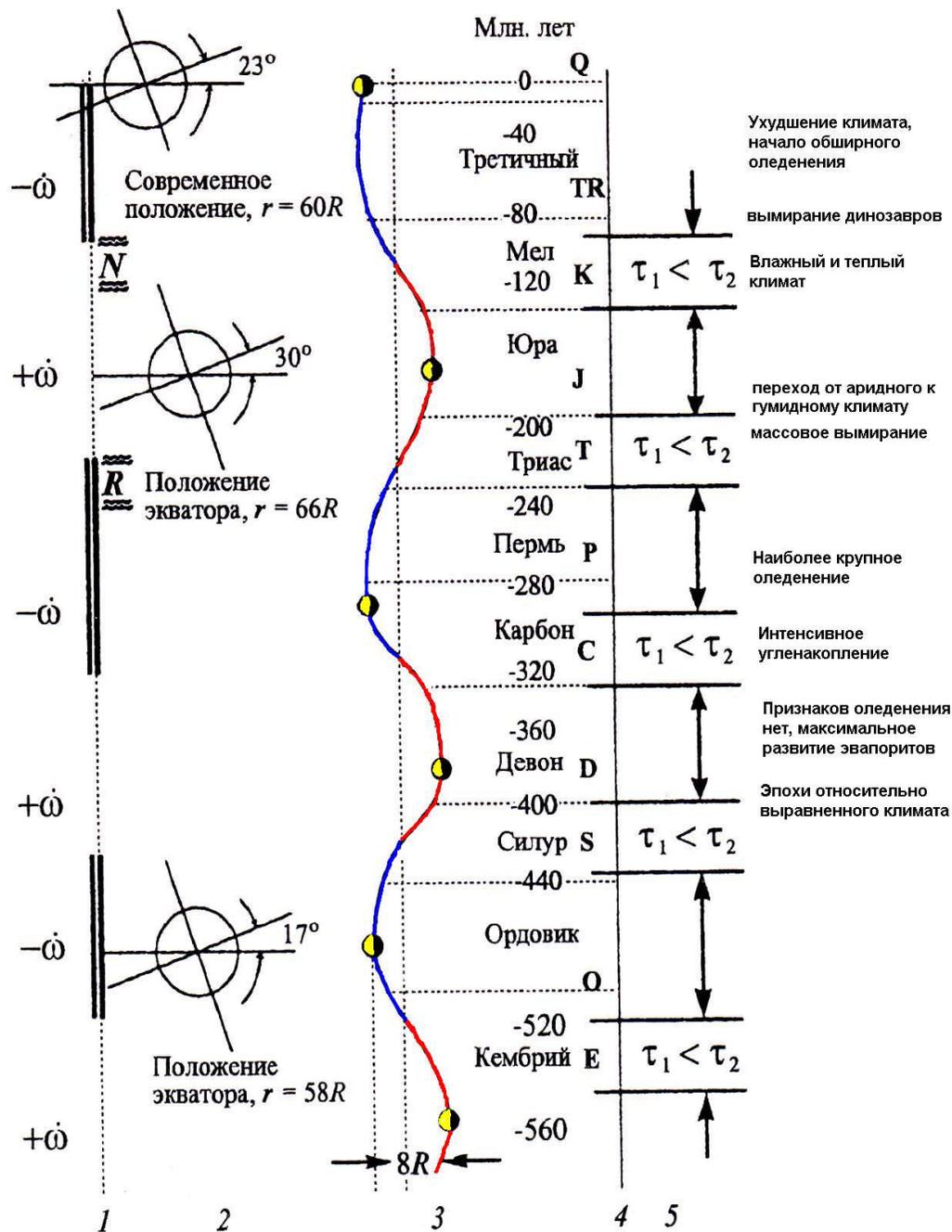
**Открытие С.Чандлера периодичности перемещения оси вращения в теле Земли дало обоснование рассмотрению возмущения Солнцем орбитального движения Земли и сопутствующих им глубинных процессов.**



**Первое приближение.** Однородная Земля, покрытая гидросферой. Рассматривается только приливное воздействие Луны на Землю.



**Второе приближение.** Структурно-неоднородная Земля (мантия, жидкое, твердое ядро), покрытая гидросферой. Рассматривается приливное воздействие Луны, Солнца (воздействие возмущений).



**Эмпирика**

**исторической**

**геологии и ее**

**сопоставление**

**с ходом приливной**

**эволюции системы**

**Земля–Луна–Солнце**

**«...Сделал четыре новоизобретенных мной пендула..., чтобы узнать всегда ли Земли центр, притягивающий к себе тяжелые тела, стоит неподвижно или переменяет место».**

**Измерения с 1756 по 1764 г. «колебания силы тяжести столь малы, что упомянутым прибором не могли быть подмечены».**

***М.В. Ломоносов***

***« пендул – маятник »***