

A tall, conical wooden tower made of logs, standing on a rocky shore. The tower has a central vertical pole and several horizontal rungs. The base is supported by two large logs. The background shows a blue sky with light clouds and a calm sea.

Белобров
Истори

Я

метра

XI Международная годовичная научная конференция
«Научный Санкт-Петербург: к 295-летию Российской академии наук»

Секция «История географии»
Санкт-Петербург, 31 октября 2019 года

... вначале было три параллельных
процес-са:

- ✓ создание универсальной
системы мер длины
- ✓ изучение секундного маятника
- ✓ измерение размеров Земли с
помощью триангуляций...

**Но постепенно они стали
сходиться вместе и тогда
появился современный «метр»!**

История термина «метр»

В **1675 г.** в трактате «Misura Universale» Тито Ливио Бураттини (Tito Livio Burattini; 1617...81) предложил принять для всей Европы новый метрологический базис. Эту меру Бураттини назвал «**метр**» (metro cattolico, то есть «универсальная мера»).

8 мая 1790 г. Национальным собранием Франции было одобрено предложение будущего всесильного дипломата Талейрана (Charles Maurice de Talleyrand-Périgord; 1754...1838) создать новую систему мер Революционной Франции по образцу системы Бураттини.

Эталон новой системы мер называли «**метром**» («**mètre**»).

История десятиричной системы мер

В 1675 г. в трактате «Misura Universale» Тито Ливио Бураттини предложил принять для всей Европы новую систему мер, в которой все соседние меры соотносились бы друг с другом как 1:10.

8 мая 1790 г. Национальным собранием Франции было одобрено предложение Талейрана создать новую систему мер Революционной Франции по образцу системы Бураттини.

30 марта 1791 г. Французское Национальное собрание с подачи Жана-Шарля де Борда (Jean-Charles, chevalier de Borda; 1733...99) решило поделить окружность на 400 «градусов», по 100 в каждой четверти.

История математического маятника

На рубеже XVI и XVII вв. Галилео Галилей (Galileo Galilei; 1564...1642) разработал общие положения теории математического маятника.

В 1644 г. Марен Мерсенн (Marin Mersenne; 1588...1648) впервые определил длину секундного маятника (сегодня это 0,994 м при $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$).

А в 1660 г. Лондонское королевское общество (академия наук) предложило использовать длину секундного маятника в качестве универсальной стандартной единицы длины.

В 1671 г. Жан Рише (Jean Richer; 1630...96) обнаружил, что в Кайенне (Cayenne; $4^{\circ}56'$ с. ш. $52^{\circ}20'$ з. д.) секундный маятник, настроенный в Париже, стал отставать на 2 мин. в сутки. Его пришлось укорачивать (на 0,3%).

История математического маятника (продолжение)

В 1675 г. Тито Ливио Бураттини предложил принять приравнять metro cattolico секундному маятнику. Бураттини оценил длину metro cattolico в 4 пальмы Генуи (996,38 мм).

В 1687 г. Исаак Ньютон (sir Isaac Newton; 1642...1727) высказал гипотезу о Полюсном *сжатии*: полюсный радиус планеты получился у него на $\frac{1}{230}$ короче экваториального (сейчас этот эффект оценивается в составляет $\frac{1}{298, 257...}$). Ньютон считал, что таким образом объясняется эффект замедления секундного маятника, обнаруженный Рише.

В дальнейшем наблюдения Рише и теория Ньютона были неоднократно подтверждены наблюдениями других учёных.

8 мая 1790 г. Национальным собранием Франции было одобрено предложение Талейрана приравнять метр секундному маятнику.

История математического маятника (окончание)

30 марта 1791 г. Французское Национальное собрание с подачи Жана-Шарля де Борда решило поделить окружность на 400 «градов», по 100 в каждой четверти.

На 1 град земного меридиана должно было идти ровно 100 000 метров (40 000 000 м на весь меридиан). От маятника отказались!

История «геодезических» мер

Ещё средневековые арабы знали, что древнеримская миля, mille passuum, укладывалась в градус меридиана ровно 75 раз.

Эта оценка вполне подтверждается фактами, но как это удалось древним римлянам современная наука не знает!

Джироламо Кардано (Gerolamo Cardano; 1501...76), изучив сведения о научных взглядах Пифагора, пришел к выводу, что абсолютно точные научные знания о форме и размерах Земли были известны ещё в Древнем Египте: египтяне якобы создали свои меры из природных констант и зафиксировали свои знания о размерах нашей планеты в Пирамиде Хеопса.

История «геодезических» мер (окончание)

В 1674 г. – по итогам градусного измерения Пикара – были уточнены протяженности французских путевых мер, сухопутного и морского льё: 25 и 20 в градусе меридиана соответственно.

Однако ещё в 1613 г. на карте Меркатора было указано, что «миля Франции» (Miliaria Gallica communia) укладывается в градус меридиана ровно 20 раз!

30 марта 1791 г. Французское Национальное собрание с подачи Жана-Шарля де Борда решило поделить окружность на 400 «градов», по 100 в каждой четверти.

На 1 град земного меридиана должно было идти ровно 100 000 метров (40 000 000 м на весь меридиан).

История триангуляций

В 1530 г. Гемма Фризиус (Gemma Frisius; 1508...55) разработал теорию метода триангуляций.

Первые в современной истории градусные измерения выполнил ***в 1615 г.*** Виллеброрд Снелл (Снеллиус; Willebrord Snel van Roy-en; 1580...1626). Снелл триангулировал дугу меридиана в $1^{\circ}11'30''$ в Нидерландах между Берген-оп-Зомом и Алкмаром.

Полученная им оценка протяженности одного градуса меридиана была на 3,57% меньше современной.

В 1669...70 гг. Жан-Феликс Пикар (Jean-Felix Picard; 1620...82) измерил протяженность дуги меридиана между Парижем и Амьеном ($1^{\circ}04'$, 13 треугольников). Измерения Пикара были очень точными (сегодня их погрешность оценивается в 0,03% и даже в меньшую величину).

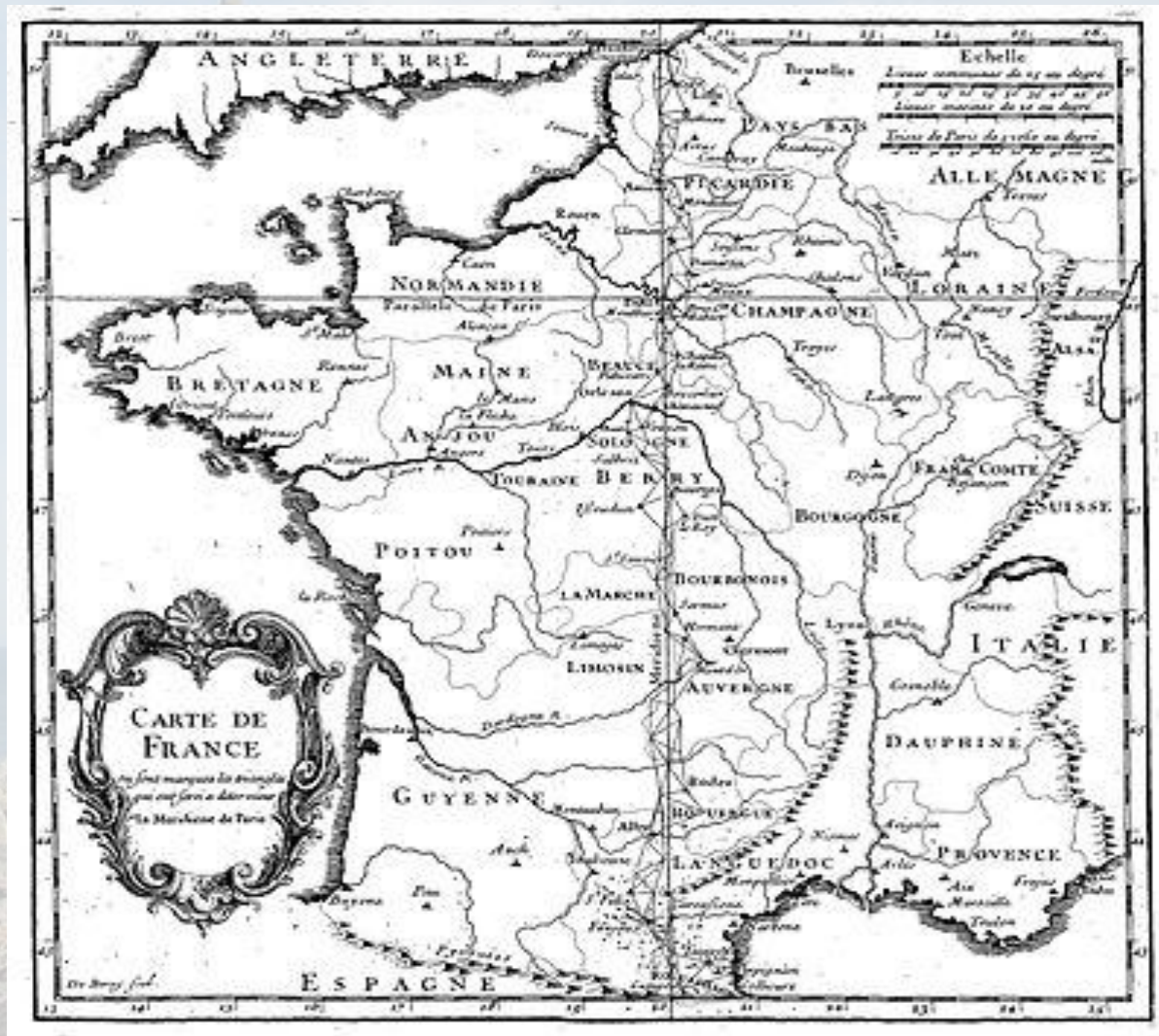
История триангуляций (продолжение)

В 1683 г. Джованни Доменико Кассини (ит. Giovanni Domenico Cassini; фр. Jean-Dominique Cassini; 1625...1712) продолжил работу Пикара: триангуляцию Парижского меридиана предстояло продлить до Дюнкерка на севере и до побережья Средиземного моря на юге (всего $8^{\circ}32'$, 54 мерных треугольника).

Джованни Кассини не сумел завершить начатое – это сделал его сын Жак (Jacques Cassini; 1677...1756). Градусные измерения проходили с большими перерывами и были завершены только **в 1718 г.** Они дали очень странный результат...

Из данных Кассини следовало, что Земля вытянута к полюсам! Это противоречило теории Ньютона, но Кассини-младший не хотел признавать даже возможности ошибки в их с отцом работе!

Парижский меридиан Кассини



История триангуляций (продолжение)

Жак Кассини обвинил Пикара в использовании бракованного эталона меры длины, *toise du Châtelet*.

Новый эталон французского «королевского» фута (*pied-de-roi*) **в 1732 г.** поручили изготовить граверу Ланглуа (Claude Langlois), которому с тех пор было дано монопольное право производить измерительные линейки для научных работ во всей Франции.

Ланглуа выбрал эталон таким, чтобы в кубе с длиной ребра в 1 *pied-de-roi*, содержалось 70 парижских ливров воды. Новый эталон был длиннее того, каким пользовался Пикар, примерно на 0,114%.

Были сформированы 2 экспедиции: одна – на экватор, в Перу, вторая – поближе к Полюсу, в Лапландию. Измерения в Перу (**в 1735...42 гг.**) и в Лапландии (**в 1736 г.**) убедительно доказали, что Земля имеет Полюсное сжатие.

История триангуляций (продолжение)

В 1739...41 гг. сын Жака Кассини, Цезарь Франсуа Кассини де Тюри (César-François Cassini de Thury; 1714...84), и Николая Лакайль (Nicolas-Louis De la Caille; 1713...62) повторили измерения, выполненные старшими Кассини. Прежние расчеты старших Кассини и Пикара были скорректированы с учетом нового эталона. В измерениях старших Кассини было выявлено много мелких ошибок.

В 1750...54 гг., во время своей астрономической экспедиции в Южную Африку, Лакайль выполнил триангуляцию, которая показала, что в Южном полушарии Земля была более плоской, чем в Северном.

Эта ошибка была окончательно устранена только в 1838 г.

Торжество Пикара

К середине XX в. учёные всё же пришли к выводу, что работа Пикара была очень точной.

	Париж	Амьен	Дюнкерк	Канигу	Среднее	Средний градус		Туаз, мм		
						м	туазы	Расчет	Эталон	Погрешность, %
Пикар	48°50' с. ш.	49°54' с. ш.			49°22' с. ш.	111 217	57 060	1 949,12	1 949,04	0,004329406
Кассини	48°50' с. ш.		51°03' с. ш.		49°56' с. ш.	111 228	56 960	1 952,73	1 949,04	0,189755883
	48°50' с. ш.			42°31' с. ш.	45°41' с. ш.	111 145	57 097	1 946,60	1 949,04	-0,124909294

Если предположить, что Кассини приняли оценку протяженности «Дуги Пикара» без корректировок, то ошибку надо искать в измерениях дуги между Амьеном и Дюнкерком: примененный там туаз должен был отличаться от эталонного *toise du Châtelet* образца 1667 г. на 0,37%, что дает его размер 1 956,26 мм. Отсюда размер «королевского» фута должен был бы быть 326,04 мм.

**В Дюнкерке Кассини использовали
старый туаз?**

История триангуляций (продолжение)

В 1792 г. Деламбр (Jean-Baptiste Joseph Delambre; 1749...1822) и Мешен (Pierre François André Méchain; 1744...1804) стали перемерять Парижский меридиан (от Дюнкерка до Барселоны).

Но **1 августа 1793 г.** Конвент принял «временный» эталон метра на основе данных Кассини де Тюри и Лакайля, а работы Деламбра и Мишена были приостановлены до 7 апреля 1795 г.

Триангуляция Деламбра и Мешена дала размер метра, незначительно, но отличающийся от уже утвержденного «эталона» (3 парижских фута и 11,296 линии против 3 футов и 11,44 линии, которые были получены из данных Кассини и Лакайля).

Корректировка размера метра была узаконена **10 декабря 1799 г.**

История триангуляций (продолжение)

Самой масштабной триангуляцией в мире долгое время была «Геодезическая дуга Струве»: ее прокладывали **с 1816 по 1855** **гг.** (в течение 40 лет!!!) на протяжении 2 820 км ($25^{\circ}20'08''$), от побережья Северного Ледовитого океана (мыс Фугленес, недалеко от мыса Норд-Кап в Норвегии ($70^{\circ}40'11''$ с.ш.)), и до устья Дуная (с. Старая Некрасовка в Одесской области Украины ($45^{\circ}20'03''$ с.ш.)) под руководством Фридриха Георга Вильгельма (Василия Яковлевича) Струве (1793...1864) и Карла Ивановича Теннера (1783...1860).

Суммарная ошибка этой триангуляции составила смешные... 50 м!



История триангуляций (окончание)

Самая масштабная триангуляция в мире была осуществлена в СССР в 1930...50 гг. под руководством Феодосия Николаевича Красовского (1878...1948): *Государственной геодезической сетью триангуляции*, была охвачена половина территории СССР, детализация сети сначала соответствовала масштабу 1 : 10 000, а затем была увеличена до 1 : 2 000.

По данным этой сети Александром Александровичем Изотовым (1907...88) в 1940 г. была разработана математическая модель поверхности Земли *Референц-эллипсоид Красовского*.

Злоключения метра

Для продвижения Метрической системы мер в сентябре 1798 г. был созван Международный конгресс (прибыли только представители союзных Франции стран). Он завершил свою работу 25 мая 1799 г.

... однако осенью 1799 г. к власти пришел Наполеон, а ему новая система мер не нравилась...

Не нравилась она и большинству французов...

Потом Франции вообще стало не до «метра»...

Потом не стало самой Наполеоновской Франции...

В итоге метр окончательно утвердился в у себя на родине только в 1840 г. (закон от 4 августа 1837 г.).

Злоключения метра (продолжение)

В процессе разработки первой в истории современной науки математической модели Земного эллипсоида Ф.В. Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel; 1784...1846) в 1841 г. обнаружил ошибку в вычислениях Деламбра и Мишена.

В 1869 г. было признано, что «архивный» метр утратил «характер естественной меры, который ему приписывался при его изготовлении, и в настоящее время он является просто произвольной и условной мерой».

Тем не менее, в 1870 г. в Париже собралась Международная метрическая комиссия (La Commission internationale du mètre), в основу работы которой были положены конструктивные предложения, высказанные в Докладе РИАН в 1869 г.

Злоключения метра (окончание)

Разразившаяся в 1870 г. Франко-прусская война прервала работу Международной метрической комиссии на 2 года.

Итогом работы Комиссии стала дипломатическая конференция, на которой 20 мая 1875 г. Представители 17 государств подписали Метрическую конвенцию.

Изготовление эталонов метра и килограмма завершилось к 1889 году, когда на I Международной конференции мер и весов эти эталоны были распределены между странами по жребию (Россия получила эталоны метра №28 (сегодня признаётся основным) и №11, а килограмма – №12 (основной) и №26).

(В США метрическую систему так и не ввели до сих пор, а в Англии – только в 1995 г.)

Судьба метра в России

04.06.1899 в Российской империи принято «Положение о мерах и весах» (закон). Оно разрешало применение в торговых и иных операциях наравне с российскими мерами, также и (по соглашению сторон) мер Метрической системы.

30.04.1917 принят декрет Временного правительства об **обязательном** применении Метрической системы на территории России. По понятным причинам, он не был воплощен в жизнь...

Декрет СНК РСФСР от **11.09.1918** инициировал переход страны на Метрическую систему.

Декрет СНК РСФСР от **29.05.1922** актуализировал сроки этого перехода.

С **1 октября 1924 г.** прекратилось изготовление мерного инвентаря старой русской системы мер.


С **1 января 1925 г.** Метрическую систему начали вводить в Советских учреждениях.

С **1 января 1927 г.** Метрическая система стала обязательной в СССР.

Прощай, триангуляция!

Модель Красовского и Изотова стала последней, полученной классическим наземным методом: в дальнейшем масштабные геодезические исследования стали осуществляться с помощью космических аппаратов.

И эти исследования, в частности, показали, что Референц-эллипсоид Красовского оказался предельно точным: погрешность оценки его большой полуоси составила всего $1,7 * 10^{-5}$, а оценка сжатия полностью совпала с реальностью.

A tall, narrow wooden tower stands on a rocky shore. The tower is made of dark wood and has a pointed top. The background shows a blue sky with light clouds and a calm blue sea. The foreground is a rocky coastline.

Благодарю за внимание!

Белобров Владимир Алексеевич

E-mail: s37fi@mail.ru

Web: <https://independent.academia.edu/VladimirBelobrov>