Белобров

Истори
я
метра

XL Международная годичная 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 образу системы Бураттини.

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

История десятеричной 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 образу 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 «градов», 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 $g = 9{,}80665$ 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°56′ с. ш. 52°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 $^{1}/_{230}$ короче экваториального (сейчас этот эффект оценивается в составляет $^{1}/_{298,\ 257...}$). 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°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°04′, 13 треугольников). Измерения Пикара были очень точными (сегодня их погрешность оценивается в 0,03% и даже в меньшую величину).

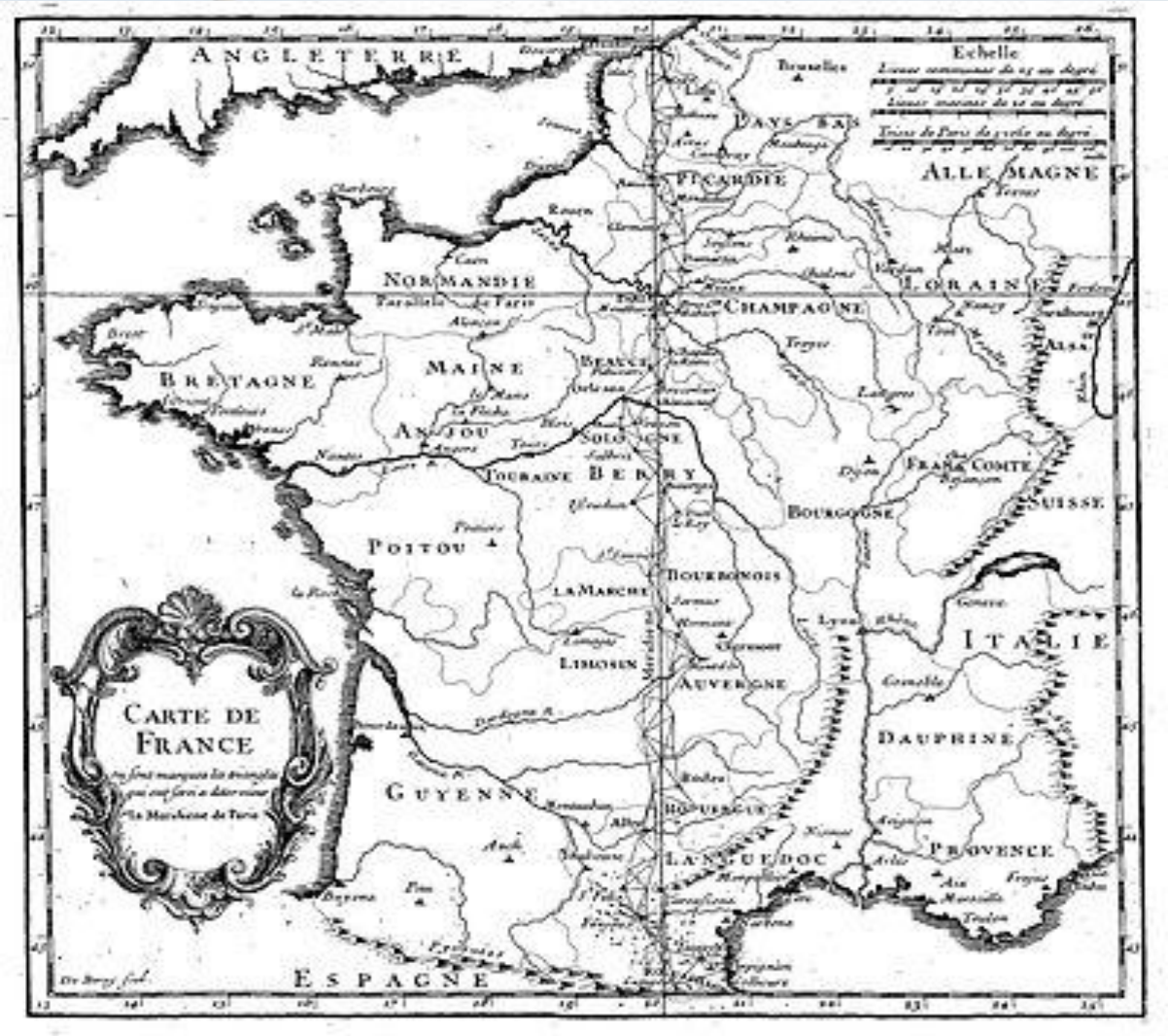
История триангуляций (продолжение)

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°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 Николя 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 Delam-bre; 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°20′08″), от побережья Северного Ледовитого океана (мыс Фугленес, недалеко от мыса Норд-Кап в Норвегии (70°40′11″ с.ш.)), и до устья Дуная (с. Старая Некрасовка в Одесской области Украины (45°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!

Фугленес
70°
Меридиан Тарту (26°43' в.д.)
НОР.
Белое море
ШВЕЦИЯ
65°
Оулу
ФИНЛ.
Ювяскюля
Хельсинки
60°
РОССИЯ
Стокгольм
Таллин
ЭСТ.
Тарту
Москва
Рига
ЛАТВ.
ЛИТВА
55°
Балтийское море
Вильнюс
Минск
БЕЛОР.
Варшава
Киев
ПОЛЬША
50°
УКРАИНА
Кишинёв
М.
РУМЫНИЯ
Старо-Некрасовка
Бухарест
45°
Чёрное море

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 (Fried-rich 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 Крассовского оказался предельно точным: погрешность оценки его большой полуоси составила всего $1{,}7 * 10^{-5}$, а оценка сжатия полностью совпала с реальностью.

Благодарю за внимание!

Белобров Владимир Алексеевич

E-mail: s37fi@mail.ru

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