

## Особенности осевого вращения Земли

на основе материала статьи С.Л. Пасынка «Особенности осевого вращения Земли» // Альманах современной метрологии №2(34), 2023, стр. 151 - 166.

### Введение

Осевое вращение Земли представлено в широком диапазоне частот, поэтому ответ даже на такой вроде бы простой вопрос ускоряется или замедляется ли сейчас осевое вращение Земли неоднозначен. Если рассматривать глобальный тренд изменения осевого вращения Земли от момента образования системы Земля-Луна до настоящего момента, то, конечно же, вращение Земли замедляется, а длительность суток (*LOD*) растёт. Но если рассматривать локальный тренд на других интервалах времени, то он может оказаться как положительным, так и отрицательным.

Другой особенностью того, что осевое вращение Земли представлено в широком диапазоне частот является то, что можно найти, как минимум, среднюю по величине, корреляцию практически с любым геофизическим фактором. Это делает наличие одной лишь корреляции необходимым, но не достаточным признаком того, что между параметрами осевого вращения Земли и того или иного геофизического фактора имеется связь, что, конечно же, значительно усложняет поиск такой связи.

Целью настоящего материала является рассмотрение того, как ведет себя осевое вращение Земли, какие данные измерений имеются, какова их точность, и какие заключения о поведении осевого вращения Земли могут быть с помощью них сделаны, оставляя за рамками физические причины, ответственные за это поведение.

### 1. Параметры вращения Земли, характеризующие осевое вращение

Параметры вращения Земли (*ПВЗ*) определяют связь международных земной и небесной систем отсчёта (*ITRS* и *ICRS*). В их состав входят: разность шкал всемирного и международного координированного времени *UT1-UTC* и координаты полюсов: земного и небесного. Координаты полюсов характеризуют направление оси вращения Земли в пространстве. А осевое вращение Земли характеризуют величина *UT1-UTC*, вариации угловой скорости вращения Земли и вариации продолжительностью суток *DLOD* (от *Length Of Day*, далее – *LOD*). Производная по времени от *UT1-UTC* является вариацией угловой скорости вращения Земли  $\delta\Omega$  и может быть выражена в радианах за секунду. Она связана с вариацией продолжительностью суток *DLOD* формулой:

$$\frac{DLOD}{LOD_0} = -\frac{\delta\Omega}{\Omega_0} \quad (1)$$

где  $\Omega_0 = 7,2921151467064 \cdot 10^{-5}$  рад/с – номинальное значение угловой скорости вращения Земли, установленное Международной службой вращения Земли и опорных систем, далее – *МСВЗ (IERS)*, а  $LOD_0 = 86400$  с – продолжительность обычных (не высокосных) суток *UTC* в секундах *СИ (SI)*.

### 2. Службы вращения Земли

*ПВЗ* для различных промежутков времени определялись исходя из данных различных методов измерений, на различных инструментах, различными исследователями и их группами. Каждый метод определения *ПВЗ* обладает своими случайными и систематическими погрешностями. Но даже если проводится обработка измерений внутри одного метода различными центрами обработки и анализа данных, то их результаты немного различаются из-за различного состава исходных измерений и применяемых методов обработки и анализа данных. Поэтому в целях обеспечения единства измерений необходима совместная обработка результатов всех видов измерений и результатов определений *ПВЗ* по каждому из видов измерений и формирование единых данных о *ПВЗ*.

В нашей стране Постановлением Правительства № 225 РФ от 23 марта 2001 года [1] эта задача возложена на Государственную службу времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ – рус., SSTF – англ.), а в международном масштабе – на Международную службу вращения Земли и опорных систем (МСВЗ – рус., IERS – англ.).

ГСВЧ имеет статус отечественной оперативной службы. Каждый год, в Главном метрологическом центре (ГМЦ – рус., MMC – англ.) ГСВЧ, роль которого возложена на НИО-7 ФГУП «ВНИИФТРИ», подводятся итоги работ за год и публикуются в годовом отчете [2]. В частности, по ежемесячным данным о ПВЗ (вторая часть бюллетеня «А» ГСВЧ) оцениваются среднегодовые значения вариации относительной угловой скорости и соответствующего ускорения вращения Земли (см. Рис. 1 и Рис. 2).

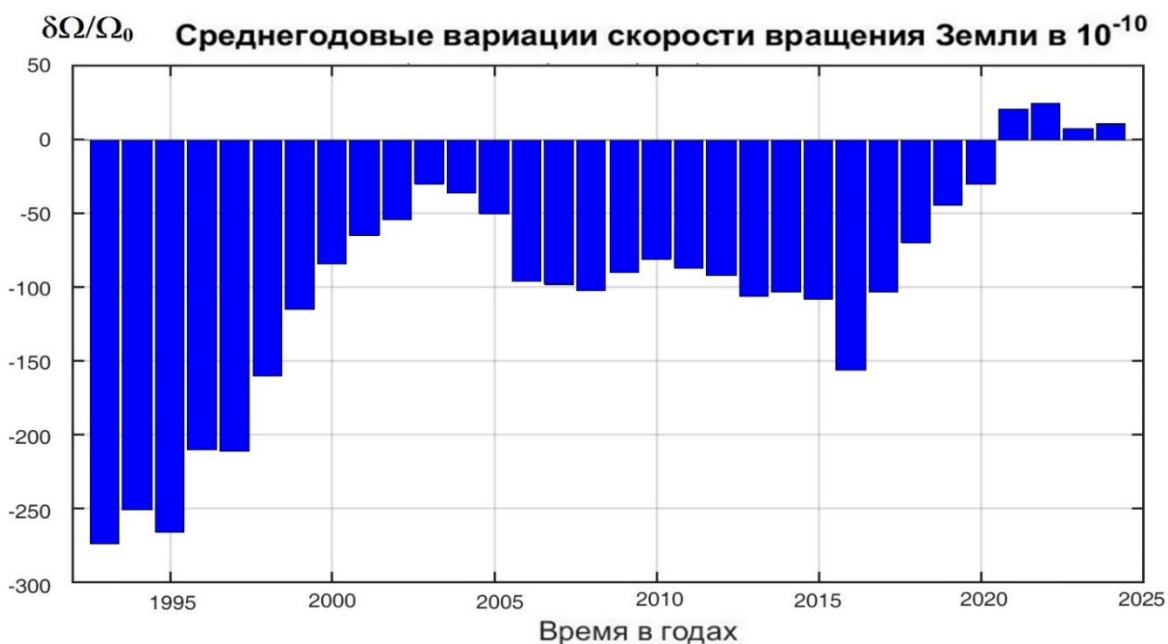


Рис. 1. Среднегодовые относительные вариации угловой скорости вращения Земли в  $10^{-10}$  долях единицы.

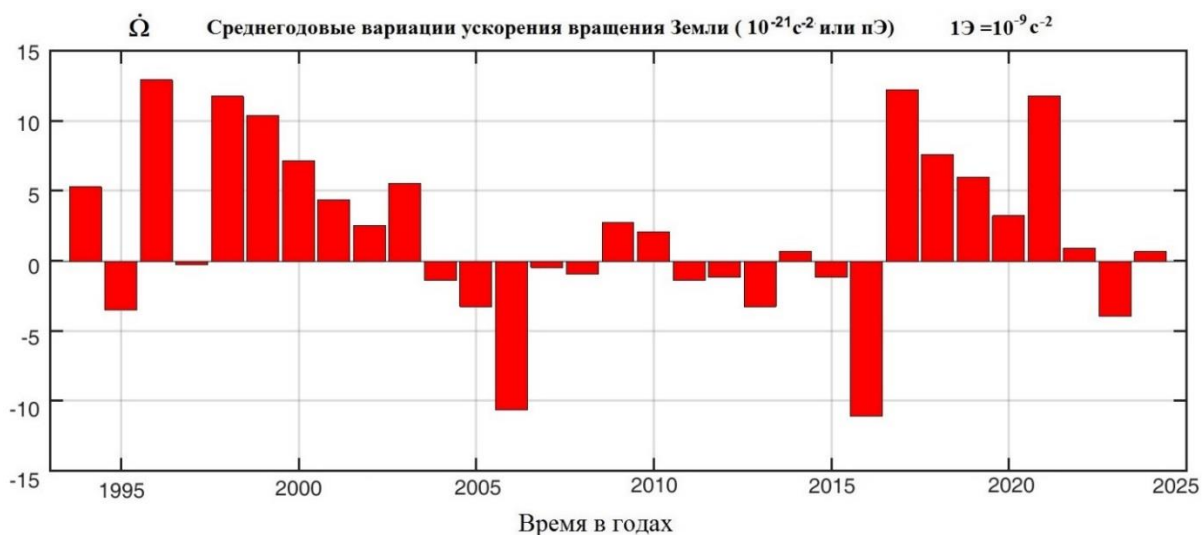


Рис. 2. Соответствующее среднегодовым относительным вариациям угловой скорости вращения Земли относительные вариации ускорения вращения Земли в пЭ.

В прошлом, роль, аналогичную роли ГМЦ ГСВЧ, играли Пулковская астрономическая обсерватория (ныне ГАО РАН), ЦНИИГАиК (ныне Центр геодезии, картографии и информационно-пространственных данных) и ГАИШ МГУ.

В международном масштабе эта задача возложена на Международную службу вращения Земли и опорных систем (*МСВЗ* – рус., *IERS* – англ.). Значения *ПВЗ*, публикуемые *МСВЗ* имеют статус принятых опорных значений *ПВЗ* [3]. В прошлом, аналогичную роль играли Международная служба широты (*МСШ* – рус., *ILS* – англ.), Международное бюро времени (*МБВ* – рус., *BIH* – англ.), а ещё ранее – Гринвичская королевская астрономическая обсерватория, Парижская и Вашингтонская астрономические обсерватории.

Палеовращение Земли (до эпохи начала регулярных астрономических определений Всемирного времени) проводились отдельными исследователями или их группами астрономами и палеонтологами. Поэтому для оценок, проведенных в настоящем материале, были привлечены результаты их работ, опубликованные в монографии [4] и работах [5,6].

### **3. Данные измерений и их точность**

Данные измерений, на основании которых можно делать выводы об осевом вращении Земли можно условно разбить на 4 основных группы:

- 1) результаты определения длительности суток для моментов времени, предшествующих появлению артефактов, несущих информацию о древних астрономических измерениях, вплоть до возникновения системы Земля-Луна;
- 2) результаты определения продолжительности суток по данным древних летописей, для моментов времени до начала астрооптических измерений;
- 3) результаты астрооптических измерений с помощью классических астрономических инструментов до начала измерений современными методами космической геодезии;
- 4) результаты определения длительности суток с помощью современных методов космической геодезии.

Сразу следует заметить, что чем для более далеких моментов в прошлом проводится оценка продолжительности суток, тем больше погрешность и тем о более усредненных результатах можно говорить и тем более медленно изменяющиеся со временем составляющие можно оценить.

#### **3.1. Данные измерений, по которым определялась продолжительность суток для моментов времени, предшествующих появлению артефактов, несущих информацию о древних астрономических измерениях**

В данном пункте рассматриваются данные измерений, по которым определялась продолжительность суток для моментов времени, отстоящих от текущего момента на миллионы и миллиарды лет, вплоть до момента образования двойной системы Земля-Луна, то есть, приблизительно до 4,6 миллиардов лет назад. Аккумулированные данные этих измерений и оценки погрешностей, в основном, взяты из [4, таблица 1.5], а также из [4, глава 5]. Для данных до фанерозоя в [4] нет оценок погрешностей, однако, по разбросу данных разных моделей в разных предположениях, погрешность этих данных по продолжительности суток можно оценить в  $\pm 2$  часа. Что касается определений для фанерозоя, то там допускаемые отклонения границ погрешности колеблются от  $\pm 13$  минут (для не слишком удаленных от текущего момента дат) до  $\pm 30$  минут. Амплитуда же тех изменений, которые обсуждаются в настоящем материале, составляют миллисекунды, поэтому значимый для настоящего материала вывод возможен только в части анализа тренда.

#### **3.2 Данные измерений, по которым определялась продолжительность суток на тысячелетних интервалах времени (данные о древних затмениях)**

Второй группой исходных данных для определения вариации продолжительности суток являются результаты детектирования времени и мест наступления затмений Солнца и Луны, а также покрытия звезд и планет Луной. Стефенсон и Моррисон [5] выполнили эту работу, проанализировав древние летописи, начиная с 700 года до нашей эры и получили

1,7 мс для линейного тренда и обнаружили, предположительно гармоническую вариацию с периодом 1500 лет и амплитудой 4 мс. Впоследствии они [6] произвели повторную обработку этих данных и уточнили значение линейного тренда. Согласно [6], он составил 1,8 мс за столетие, пределы погрешности были оценены в  $\pm 0,05$  мс за столетие. Было показано, что реальный ход тренда значительно отличается от 2,3 мс за столетие, полученных для эффекта приливного трения, и должны быть и другие значимые факторы, влияющие на тренд.

### **3.3 Данные измерений, по которым определялась продолжительность суток на вековых интервалах времени (данные астрооптических измерений)**

Третьим источником данных являются данные астрооптических измерений, проводимых в Гринвичской королевской обсерватории, Вашингтонской астрономической обсерватории и Парижской астрономической обсерватории. Со второй половины XIX века начались регулярные наблюдения в российской Пулковской императорской (Николаевской) обсерватории (ныне Главной астрономической обсерватории Российской академии наук – *ГАО РАН*). Для обеспечения единства измерений результаты астрооптических измерений ведущих астрономических обсерваторий с 1899 стали аккумулироваться в Международной службе широты (*МСШ, ILS*) и с 1912 в Международном бюро времени (*ВМВ*), действовавшем на базе Парижской астрономической обсерватории. В России действовало около 16 астрономических обсерваторий измерения которых в 60-х годах XX века составляли более половины всех астрономических измерений в мире. С 1955 года роль по обеспечению единства измерений всемирного времени (по которому можно вычислить и вариации угловой скорости вращения Земли, и вариации продолжительности суток) в России была возложена на *ФГУП «ВНИИФТРИ»*.

Погрешности суточных значений астрооптических определений вариации продолжительности суток по результатам измерений с сети станций составляет около 1 мс. Таким образом, исследовать поведение продолжительности суток на базе этих измерений можно только для достаточно крупных компонент вариаций, таких как сезонная составляющая, декадные вариации и т.п.

### **3.4 Данные измерений, по которым определялась продолжительность суток на внутривековых интервалах времени (данные измерений методами космической геодезии)**

Самые высокоточные данные об осевом вращении дают методы космической геодезии:

- радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами – *РСДБ (VLBI)*;
- лазерной дальнометрии спутников и Луны – *СЛД (SLR)* и *ЛЛД (LLR)*;
- методом приема сигналов космических навигационных систем *ГНСС (GNSS)*;
- доплеровской системы спутниковой орбитографии (*DORIS*).

Задача обеспечения единства измерений в области измерений ПВЗ в международном масштабе сейчас возложена на Международную службу вращения Земли и опорных систем, которая была создана в 1987 году. Ряд окончательных значений ПВЗ *ЕОРСО4*, формируемый *МСВЗ*, имеет статус окончательных опорных значений ПВЗ, которые должны использоваться для всех метрологических апостериорных оценок точности ПВЗ в международном масштабе. Точность определения значений продолжительности суток этого ряда составляет несколько микросекунд. К сожалению, этот ряд охватывает достаточно малый (с точки зрения прогнозирования хотя бы на столетие) временной промежуток (с 1962 года и по настоящее время). Поэтому, хотя анализ этих значений и позволил выделить стационарную часть сезонной гармоник и построить модель вариаций приливов в твёрдой Земле, все же остается достаточно большая неопределенность в длиннопериодических вариациях и тренде. Кроме того, как будет показано ниже, продолжительность суток также

содержит нестационарные вариации, для которых Фурье-анализ и корреляционный анализ не дают полезных результатов.

#### 4. Поведение вариации продолжительности суток на различных интервалах времени

##### 4.1. Поведение продолжительности суток на геологических интервалах времени

На Рис. 3 изображены описанные в п. 3.1 данные измерений (для фанерозоя) и полуаналитических оценок (до фанерозоя) вариации продолжительности суток с границами указанных выше погрешностей, нанесенных пунктиром. Шкала слева проградуирована в часах, а шкала справа – в миллисекундах. Сплошная линия – результат аппроксимации в смысле метода наименьших квадратов (МНК) измерений полиномом четвертого порядка, участок которого для последних 2000 лет практически совпадает с линейным трендом 1,5 мс за сто лет. Назовем этот тренд главным. Именно он отвечает за *главную тенденцию эволюции угловой скорости вращения Земли* и ее периода вращения: *главная тенденция в эволюции осевого вращения Земли состоит в том, что угловая скорость со временем уменьшается, период растет, а осевое вращение Земли замедляется.*

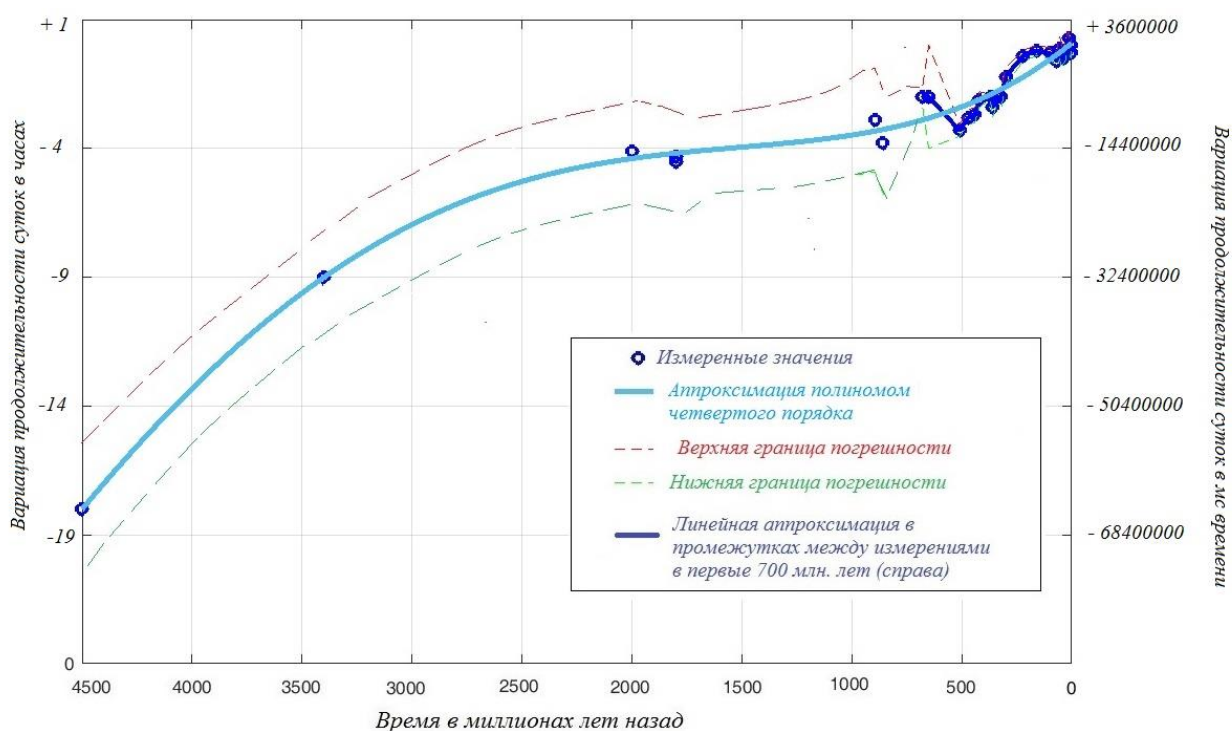


Рис. 3. Вариация продолжительности суток на времени существования системы Земля-Луна.

##### 4.2. Поведение продолжительности суток на интервалах времени в несколько тысяч лет

На Рис. 4 изображен период времени за 2500 лет (с 500 года до нашей эры до 2000 года нашей эры). На этом рисунке серо-голубым цветом показан глобальный тренд, зеленым цветом – наблюдаемый локальный тренд, определенный в [6] по данным древних летописей. Красным цветом показан совокупный эффект локального тренда и 1500-летней гармоникой [6].

Следует заметить, что данные измерений по результатам затмений имеют характер квазипериодических вариаций. Поэтому встречаются и другие оценки величины периода этой составляющей, в зависимости от того, какие веса назначают исследователи отдельным измерениям. Так, согласно [4], данный период составляет 1200 лет, а не 1500. Синими

точками изображены результаты обработки астрооптических измерений. В них явно заметны нерегулярные многолетние квазипериодические вариации. Красная же кривая является гладкой, поскольку точность измерений не позволяет выделить многолетние квазипериодические вариации, а тем более еще более быстрые вариации из шумовой составляющей.

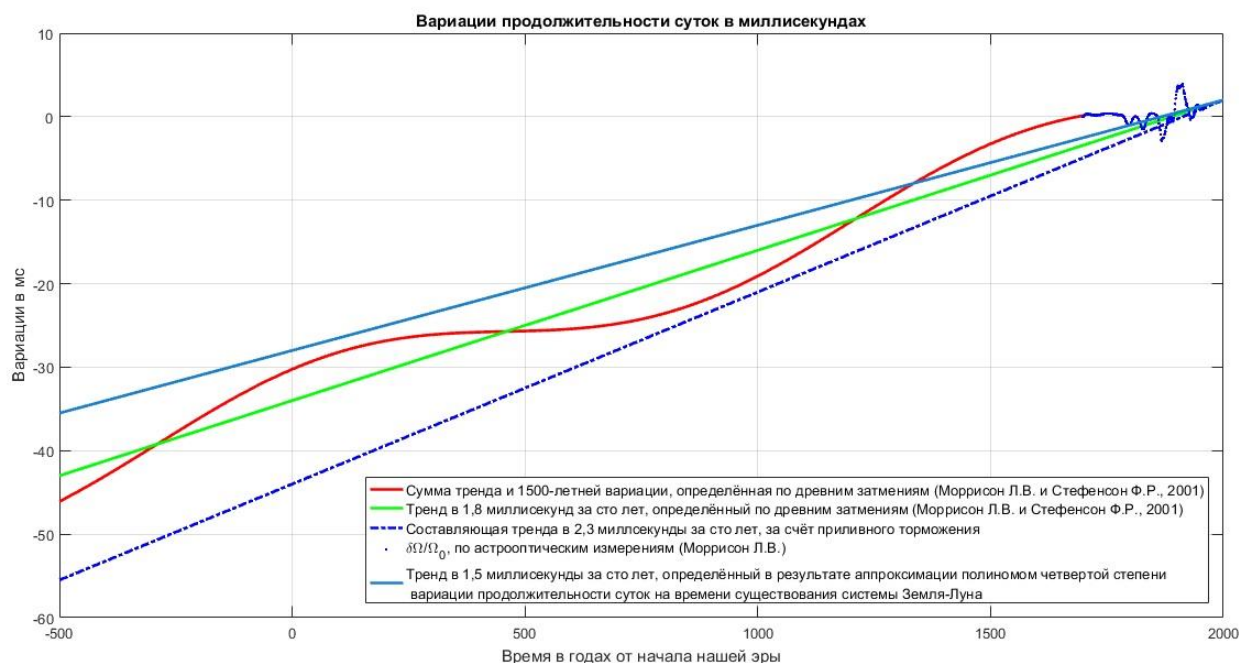


Рис. 4. Вариация продолжительности суток за 2500 лет, начиная с 500 г. до н.э.

### 4.3. Поведение продолжительности суток на межвековых интервалах времени

На Рис. 5 изображены относительные вариации угловой скорости вращения Земли и относительные вариации продолжительности суток со знаком «минус» по данным астрооптических измерений (с 1780 до 1962 года, слева) и по данным современных методов космической геодезии (с 1962 по 2000 год, справа).

### 4.4. Поведение продолжительности суток на внутривековых интервалах времени

#### 4.4.1. Поведение продолжительности суток на вековом интервале времени

Точность измерений методами космической геодезии настолько высока, что становятся заметны близсуточные и близполусуточные вариации (далее – ББВ), вызванные приливами в океанах и либрациями. Но в публикуемых официальных бюллетенях МСВЗ и ГСВЧ они отсутствуют. При анализе поведения осевого вращения Земли на интервалах времени больше суток такие вариации только мешают.

Поэтому до пункта 4.4.3 будем анализировать высокоточные данные о продолжительности суток МСВЗ, полученные на основе методов космической геодезии, освобожденные от ББВ и опубликованные в официальных бюллетенях МСВЗ (см. Рис. 6).

Благодаря высокой точности этих измерений, а также развитию теории в работах [7,8] и других удалось построить две модели, которые существенно облегчают анализ этих измерений:

- модель приливных вариаций (рекомендованная к применению МСВЗ, описание содержится в [9]);
- модель сезонных вариаций, усредненных по всему интервалу времени этих измерений (т.е. стационарной части сезонных вариаций).

Если вычесть модели зональных приливов и сезонных вариаций из данных, изображенных на [Рис. 6](#), то получится кривая, изображенная на [Рис. 7](#) красным цветом. Синим цветом изображена вариация продолжительности суток до вычитания этих моделей.

Видно, что основная часть короткопериодической «бахромы» при этом исключается.  $DLOD_S$  означает вариацию продолжительности суток из которой исключена полная приливная модель; если же исключены только зональные гармоники с периодами до 35 суток, то соответствующая вариация обозначается как  $DLOD_R$ .

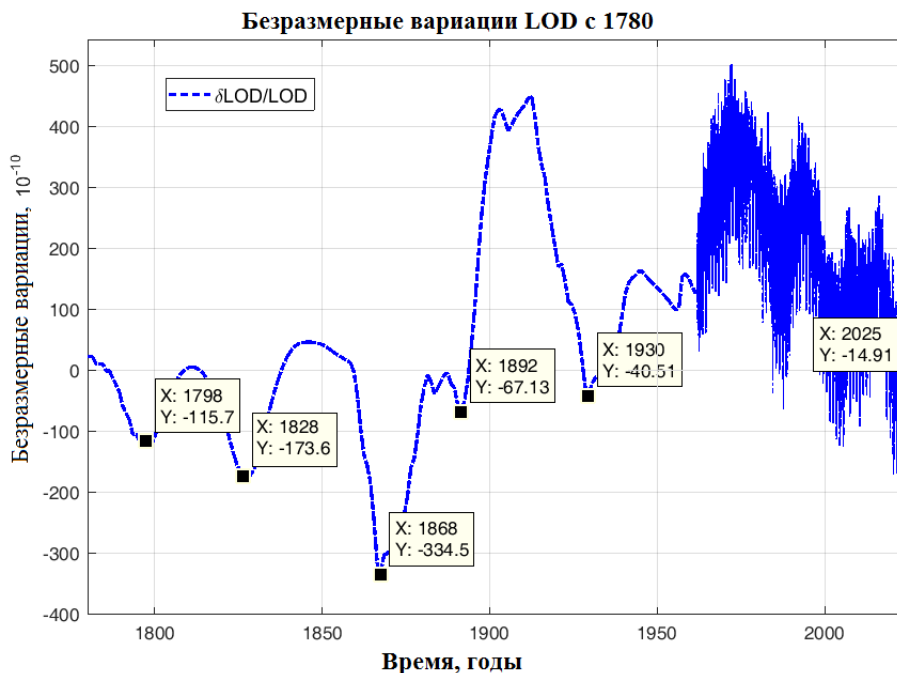


Рис. 5. Относительные вариации угловой скорости вращения Земли и относительные вариации продолжительности суток со знаком «минус»

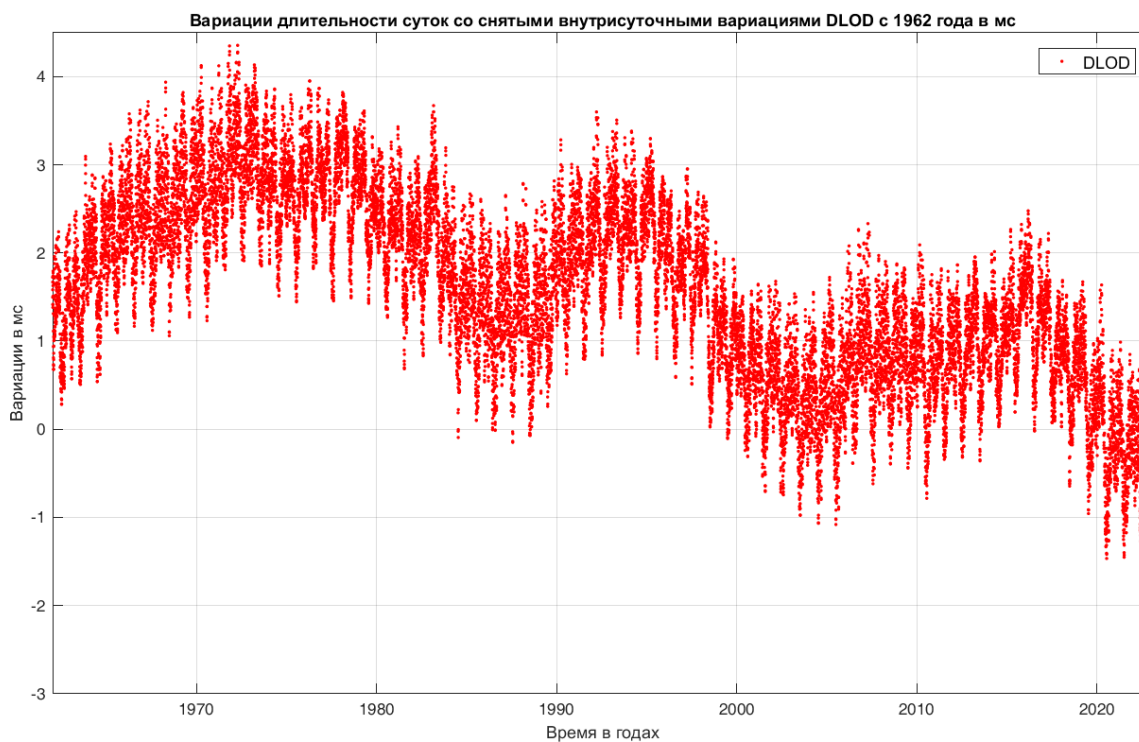


Рис. 6. Вариация продолжительности суток за последние 60 лет по результатам измерений методами космической геодезии по данным опубликованным в официальных бюллетенях

Также видны три достаточно большие «арки» с размахом около 3 мс и временной протяженностью от 20 до 30 лет. Эти детали называются «декадными» вариациями продолжительности суток. Видно, что они не повторяются в точности, поэтому, их следует называть не вариациями, а структурами этих вариаций, соответствующими среднему промежутку времени, на котором такая структура развивается. Например, «декадные» вариации с этой точки зрения следует называть декадными структурами вариаций осевого вращения Земли.

Остаточные вариации на характерных масштабах времени в несколько лет называют межгодовыми вариациями продолжительности суток.

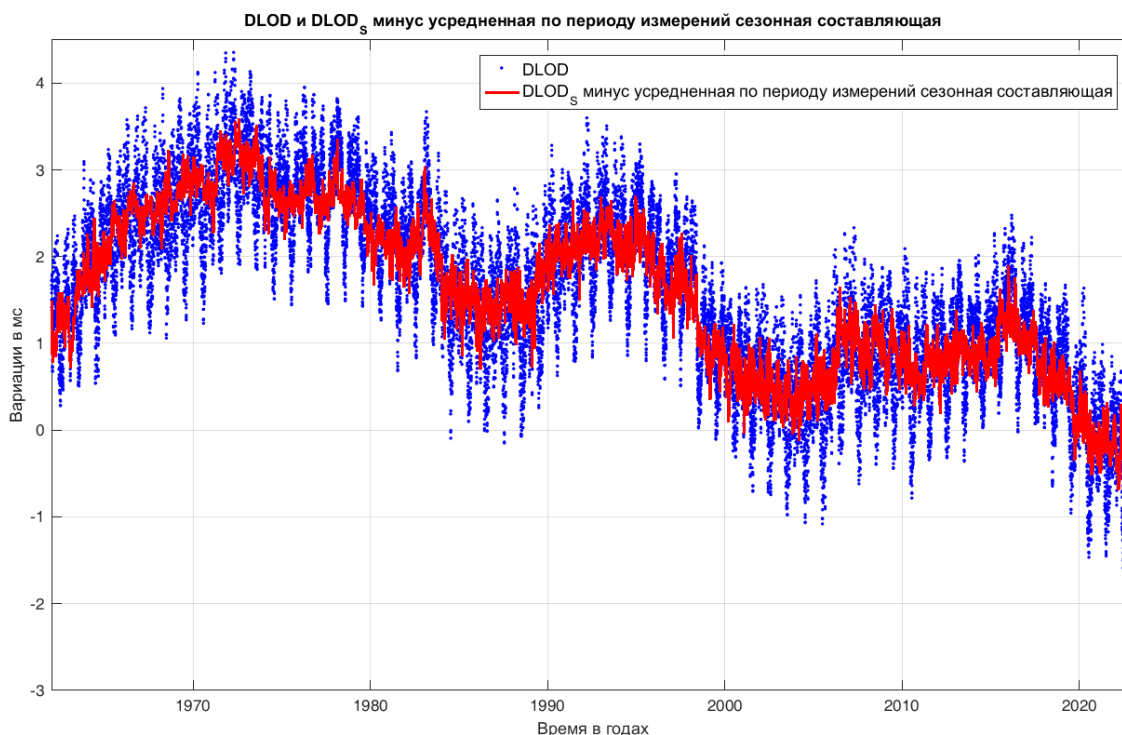


Рис. 7. Значения вариаций продолжительности суток за последние 60 лет по результатам измерений методами космической геодезии (синий цвет), опубликованные в официальных бюллетенях и то, что получается после исключения из них моделей зональных приливов и сезонных вариаций (красный цвет).

Конечно, возникает искушение провести дальнейший Фурье-анализ и привлечь старые астрооптические измерения и, конечно же, все это было проделано. Но тут исследователи получили неожиданный результат: результаты сильно зависят от того, какой участок подвергается Фурье-анализу и главные периоды при этом меняются, чуть ли не в полтора раза. Если же попытаться выделить периоды с помощью корреляционного анализа, то оказывается, что эти периоды не только не совпадают с результатами Фурье-анализа, но и вообще далеки от ожидаемых. Причина состоит в том, что на самом деле эти остаточные вариации нестационарные и нерегулярные. Поэтому результат Фурье-анализа зависит от промежутка времени, на котором проводится разложение, а на основе корреляционного анализа удастся построить такую стационарную гармоническую функцию, которая максимально покрывает большую часть отклонений на отдельно взятом интервале, но при малейшем сдвиге или изменении анализируемого интервала это согласие сразу же нарушается.

Для наглядной иллюстрации такой ситуации используется вейвлет-анализ. Для иллюстрации были построены энергетические вейвлет-спектры, изображенные на Рис. 8.



Слева изображен энергетический вейвлет-спектр модели приливов в твердом теле Земли, как пример близкой к периодической и стационарной функции. Справа изображен энергетический вейвлет-спектр остаточных уклонений, изображенных на [Рис. 7](#) красным цветом.

По горизонтальной оси отложено смещение, по вертикальной – масштаб. Если не учитывать краевые эффекты, которые имеются на обоих энергетических вейвлет-спектрах, то отличие очевидно: близкий к периодическому процесс выглядит как горизонтальные прямые линии или периодически практически в точности повторяющиеся «зубчики», в то время как нестационарный процесс имеет вид пятен, которые где-то повторяются, где-то исчезают, где-то возникают, где-то «тонут», а где-то «всплывают», что иллюстрирует нарушение периодичности и нелинейность процесса, которая ответственна за «перекачку» энергии из одной частотной области в другую.

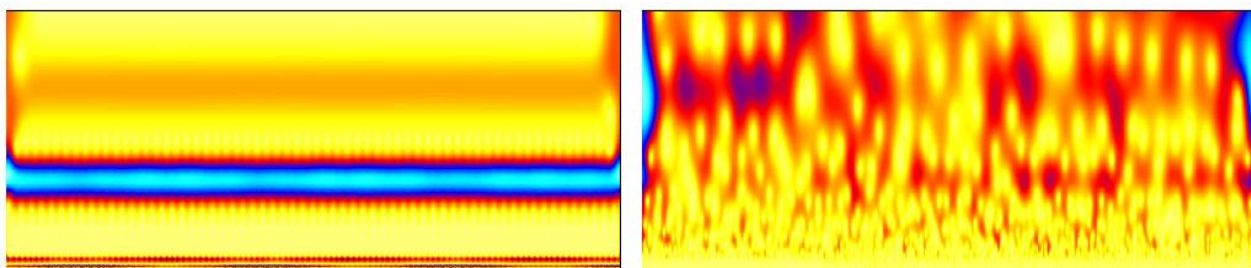


Рис. 8. Вейвлет-спектры для модели зональных приливов в твердом теле Земли (слева) и для изображенных на [Рис. 7](#) красным цветом остаточных уклонений (справа).

#### 4.4.2. Поведение продолжительности суток на годовом интервале времени

Межгодовые вариации, а также тренд и многолетние квазипериодические вариации вносят малый вклад в изменение продолжительности суток в течении года. На [Рис. 9](#) показаны вариации продолжительности суток в течении 2021 года (голубая кривая).

Основные детали кривой на годовом интервале времени задаются гармониками, описывающими приливы в твердой Земле и сезонными вариациями. Остаточная часть вариаций продолжительности суток, которая получается из полной вариации продолжительности суток после вычитания модели МСВЗ приливов в твердом теле Земли и модели стационарной части сезонных вариаций, изображена на [Рис. 9](#) красной линией.

Наиболее крупные остаточные изменения протяженностью около 60 суток – это, так называемые, внутрисезонные вариации или внутрисезонные структурные детали этих вариаций.

#### 4.4.3. Поведение продолжительности суток на суточном интервале времени

Как уже было отмечено выше, те (наблюдаемые) значения  $ПВЗ$ , которые должны быть подставлены в матрицу поворота, на самом деле, отличаются от тех  $ПВЗ$ , которые публикуются отечественными и международными службами. Согласно рекомендациям (стандартам) *МСВЗ IERS Conventions 2010*, для получения наблюдаемых  $ПВЗ$  на заданный момент времени, нужно проинтерполировать опубликованные *МСВЗ* значения на заданную дату (с помощью интерполяционного полинома Лагранжа), после чего добавить к ним поправки за короткопериодическую часть влияния приливов в океанах и либрации. Поскольку для всемирного времени эти поправки содержат близсуточные и близполусуточные гармоники, назовём их близсуточными и близполусуточными вариациями ( $ББВ$ )<sup>1</sup>. Они показаны на [Рис. 10](#).

<sup>1</sup> – в отечественной литературе все их часто называют «внутрисуточными» вариациями, однако, это не совсем верно: близсуточные вариации включают в себя гармоники как с периодами меньше суток, так и с периодами больше суток.

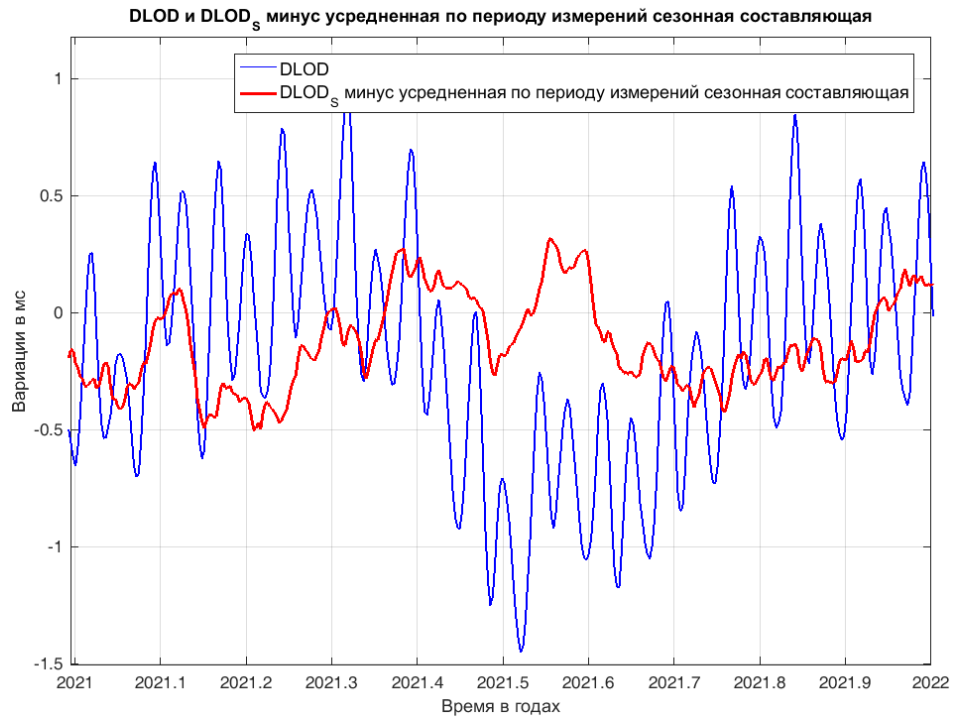


Рис. 9. Вариация продолжительности суток на годовом интервале и ее остаточная часть

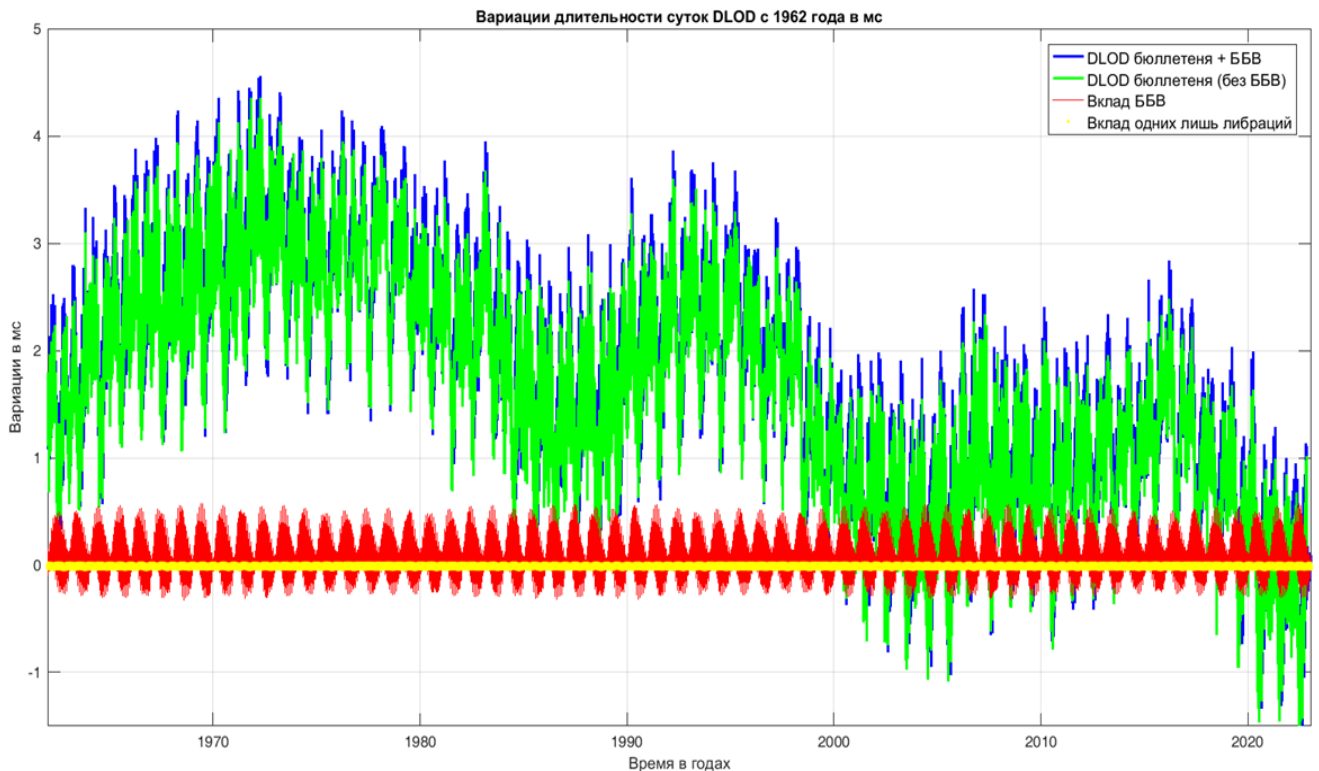


Рис. 10 – Вклад ББВ в вариации продолжительности суток ( $LOD$ ) (красный цвет), полная вариация  $LOD$  с учётом ББВ (синий цвет), публикуемые в бюллетенях ПВЗ (зелёный цвет). Вклад от одних лишь либраций изображён жёлтым цветом

### 5. Обсуждение изменений вариации продолжительности суток

В пункте 4 были рассмотрены общие закономерности изменения вариации продолжительности суток с течением времени, которые легко могут быть пересчитаны к вариациям угловой скорости вращения Земли с помощью (1).

Вернёмся к обсуждению [Рис. 3](#). Он позволяет не только судить о величине и знаке глобального тренда. Если посмотреть внимательно на правую верхнюю часть [Рис. 3](#), то можно заметить, что на отдельных геологических периодах значение локального тренда в рамках промежутков даже в несколько десятков миллионов лет может достаточно сильно отличаться от главного тренда и даже, на отдельных промежутках времени, иметь отрицательный наклон, что противоречит главной тенденции эволюции осевого вращения Земли.

Однако, размах этих отклонений не превышает часа и, в среднем, на больших промежутках времени, они компенсируют друг друга. Это свидетельствует о том, что могут быть вариации на временных масштабах даже десятков миллионов лет, и они могут приводить к отличию наблюдаемого за последние тысячелетия тренда от главного. На следующем [Рис. 4](#) отчётливо видно, что наблюдаемый локальный (определённый по промежутку в последних 2500 лет) тренд (зелёная линия) значительно отличается от глобального (серо-голубая линия), что также подтверждает этот вывод.

На следующем [Рис. 5](#) угадываются контуры так называемых «мультидекадных» структурных деталей вариаций осевого вращения Земли, составляющих основную часть неравномерностей вращения Земли на 60 – 70 летнем масштабе времени, и, конечно же, отчётливо видны декадные структурные детали, характерный временной масштаб которых составляет около 20-30 лет. Кроме того, на [Рис. 5](#) видно, что вариации длительности суток уже неоднократно достигали достаточно больших по абсолютной величине отрицательных значений в прошлом (например, в 1930 году и ранее, в 1892 году) и даже очень больших по абсолютной величине отрицательных значений (в 1798, 1828 и 1868), которые не могут быть объяснены в рамках локального тренда в 1,8 мс за столетие в вариации продолжительности суток (что в переводе в безразмерные вариации соответствует примерно  $21 \cdot 10^{-10}$  за столетие). Результаты Фурье-анализа данных, изображённых на [Рис. 7](#) (без зональных приливов и средней сезонной составляющей), дают наибольшие составляющие для периодов от 2 до 3 лет, от 6 до 8, от 10 до 15 лет, от 20 до 30 лет и от 50 до 70, которые соответствуют или кратны масштабам упоминавшихся выше структурных деталей вариаций осевого вращения Земли. Конкретные значения периодов зависят от промежутка времени, на котором производится анализ.

## **6. Центр учета глобального влияния подвижных геофизических фракций Земли**

Поскольку только часть вариации продолжительности суток может быть учтена с помощью моделей, для предсказания нестационарной составляющей вариаций необходима разработка методов, в рамках которых по внешним признакам (состоянию атмосферы, данным о магнитном поле Земли и т.д.) было бы возможно вычислять изменение суммарного эффективного углового момента. В конечном итоге, все эти изменения могут быть выражены через соответствующие вариации суммарного углового момента подвижных фракций Земли (океаны, атмосфера, гидрология, течения в жидком ядре Земли и т.д.).

В рамках МСВЗ для учета этих факторов создан центр учета глобального влияния подвижных геофизических фракций Земли – Центр глобальных геофизических флюидов (от Global Geophysical Fluids Center, GGFC). Поскольку в русском языке, в отличие от английского, термин «флюиды» зарезервирован за жидкостями в надкритическом состоянии, то здесь будем стараться избегать применения этого термина. В центр учета глобального влияния подвижных геофизических фракций Земли МСВЗ входят:

- особое бюро по учёту влияния океанов (Special Bureau for the Oceans, SBO);
- особое бюро по учёту влияния гидрологии (Special Bureau for Hydrology, SBH);
- особое бюро по учёту влияния атмосферы (Special Bureau for the Atmosphere, SBA );

– особое бюро по учёту влияния процессов в недрах Земли (Special Bureau for the Core, SBC);

– особое бюро по совместной обработке (Special Bureau for Combination Products, SBCP).

В результате формируются угловые моменты подвижных геофизических фракций Земли (океанов, атмосферы, гидрологии), которые используются, в основном, для прогнозирования ПВЗ.

## 7. Резюме

В настоящем материале рассмотрены общие закономерности изменения вариации продолжительности суток (угловой скорости вращения Земли) с течением времени. Частично, вариации средней продолжительности суток могут быть предвычислены с помощью моделей *МСВЗ*, а, частично, представляют собой сложный нестационарный процесс (вейвлет-спектр этой части построен). Для учета этой части *МСВЗ* создан центр *GGFC* для учета глобального влияния подвижных геофизических фракций Земли (океанов, атмосферы и гидрологии).

Поскольку даже простое обсуждение физической интерпретация каждой из упомянутых особенностей само по себе очень объёмное, а некоторым вопросам даже могут быть посвящены целые книги, то в настоящем материале физическая интерпретация указанных особенностей осевого вращения Земли не рассматривается.

Из приведенных результатов следует, что локальный тренд увеличения угловой скорости вращения Земли (уменьшения продолжительности суток) сохраняется на протяжении последних 63 лет. Численное значение текущей среднегодовой вариации угловой скорости вращения Земли не является уникальным: оно неоднократно достигалось в прошлом и даже значительно было превзойдено (с учетом тренда на интервале последних 2500 лет в угловой скорости вращения Земли).

В рисунках были использованы материалы *ГСВЧ* [2], оригинальной статьи, а также данные о *ПВЗ* серий *C* Международной службы вращения Земли и опорных систем (*МСВЗ*, *IERS*).

## Список литературы

1. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли» от 23 марта 2001 г. № 225 (в ред. постановлений Правительства РФ от 02.08.2005 № 486, от 10.03.2009 № 219, от 02.09.2009 № 718, от 08.09.2010 № 702, от 31.01.2012 № 63, от 28.09.2018 № 1152, от 20.11.2018 № 1391, от 17.04.2021 № 613).

2. Годовой отчет «Выполнение работ, связанных с деятельностью Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли» // ФГУП «ВНИИФТРИ», 2022. – раздел 3.

3. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010 – 82 с., ISBN 978-5-91259-057-3.

PMG 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации // Стандартиформ, 2014.

4. Киселев В.М., Вращение Земли от архея до наших дней: монография. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. – 262 с., ISBN 978-5-7638-3199-3.

5. Stephenson F.R. and Morrison L.V., Long-term fluctuations in the Earth's rotation: 700 BC to AD 1990 // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A (1995) 351, 165 202.

6. Morrison L.V. and Stephenson F.R., Historical eclipses and the variability of the Earth's rotation // *Journal of Geodynamics*, 2001. – 32. – P. 247-265, 10.1016/S0264-3707(01)00024-2.
7. Yoder C. F., Williams J. G., and Parke M. E., Tidal variations of Earth rotation // *J. Geophys. Res.* 86, 1981. – 881-891.
8. Wahr J. and Bergen Z., The effects of mantle anelasticity on nutations, Earth tides, and tidal variations in rotation rate // *Geophys. J. Roy. astr. Soc.* 87, 1986.–633-668.
9. Chapter 8. Tidal variations in the Earth's rotation // *IERS Conventions (2010)*. Gerard Petit and Brian Luzum (eds.). (IERS Technical Note; 36) Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6.