

СЛЕДУЕТ ЛИ ОЖИДАТЬ ДАЛЬНЕЙШЕГО УСКОРЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ?

© 2024 г. З. М. Малкин

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: malkin@gaoran.ru

Поступила в редакцию 16.04.2024 г.

После доработки 08.07.2024 г.

Принята в печать 15.08.2024 г.

Недавно в печати было высказано предположение о том, что разница между всемирным и координированным времени UT1–UTC может достичь в ближайшие годы большого положительного значения (Agnew 2024). Это может сделать необходимым впервые в истории ввести в шкалу UTC отрицательную дополнительную секунду, что, в свою очередь, вызовет серьезные проблемы в системах хранения и синхронизации времени по всему миру. В настоящей работе на основе последних данных о вращении Земли и всемирном времени, публикуемых Международной службой вращения Земли и опорных систем отсчета (IERS), и их прогноза, показано, что тенденция к ускорению вращения Земли, наблюдаемая в течение последних четырех лет, скорее всего вскоре вернется к замедлению. Следовательно, опасения о возможной необходимости введения в ближайшие несколько лет отрицательной дополнительной секунды в шкалу времени UTC в свете последних наблюдательных данных выглядят безосновательными.

Ключевые слова: вращение Земли, скорость вращения Земли, шкалы времени, всемирное время

DOI: 10.31857/S0004629924100061 EDN: JLRWYX

1. ВВЕДЕНИЕ

Практически все шкалы времени, используемые человечеством, так или иначе связаны с наблюдениями за вращением Земли. Основной шкалой времени, непосредственно связанной с вращением Земли, служит всемирное время UT1, которое определяется угловым поворотом Земли вокруг своей оси вращения относительно небесной системы отсчета [1, 2, 3]. Таким образом, UT1 – это астрономическая шкала времени. Однако, вращение Земли является очень сложным и, вообще говоря, нестационарным геофизическим процессом, что вызывает неравномерность шкалы времени UT1. Это делает UT1 неудобным для большинства повседневных практических применений.

Другой шкалой времени, широко используемой для хранения и распространения времени, служит международное атомное время (TAI), которое основано на комбинации (усреднении) шкал времени сотен атомных часов, работающих в десятках лабораторий, расположенных по всему миру [4]. TAI очень однородная и равномерная шкала времени, но она также не всегда удобна для повсеместного использования из-за расхождения с астрономическим временем UT1, растущего со временем. Разница TAI–UT1, составлявшая в 1961 г. около 1.4 с, сейчас превышает 37 с.

Для преодоления этих проблем и обеспечения более подходящей шкалы времени, которая, с одной стороны, была бы близка к углу поворота Земли, а с другой стороны, была бы максимально однородной, в 1961 г. была введена новая шкала времени – всемирное координированное время (UTC) [5, 6]. UTC – атомное время, совпадающее по скорости с TAI, но отличающееся от него на целое число секунд (после 1 января 1972 г., до этой даты разница между TAI и UTC вычислялась по более сложной процедуре). Согласно последнему международному соглашению абсолютная величина разности UT1–UTC не должна превышать 0.9 с. За этим следит Международная служба вращения Земли и систем отсчета (IERS), которая отвечает за введение дополнительной секунды, обычно в конце июня или в конце декабря, когда это необходимо для компенсации накопленной разницы между TAI и UTC. Резервными датами введения дополнительной секунды могут быть также конец марта и сентября, но они пока ни разу не использовались. Таким образом, UTC представляет собой ступенчатую шкалу времени (см. рис. 1 ниже). В настоящее время UTC является основной шкалой времени для гражданского использования в большинстве стран мира.

Разность между астрономической шкалой всемирного времени UT1 и атомной шкалой времени TAI, обычно обозначаемая как TAI–UT1, монотонно росла с 1961 г. (когда была введена шкала UTC) до начала 2020-х гг. (не считая небольших декадных и сезонных вариаций), после чего стало наблюдаться аномальное ускорение вращения Земли, что выразилось в тенденции к уменьшению TAI–UT1 в последние годы (см. рис. 2 ниже).

В период устойчивого замедления вращения Земли все дополнительные секунды, введенные до сих пор в шкалу времени UTC, были «положительными», они были вставлены между моментами $23^{\text{h}}53^{\text{m}}59^{\text{s}}$ даты коррекции и $0^{\text{h}}0^{\text{m}}00^{\text{s}}$ следующего дня. С годами пользователи шкал времени UT1 и UTC адаптировались к этой процедуре.

Если тенденция ускорения вращения Земли сохранится в течение длительного времени, возможно, придется ввести в UTC «отрицательную» секунду, что может привести к серьезным сбоям в системах хранения и синхронизации времени. Такой сценарий недавно обсуждался в работе [7]. В данной работе предпринята попытка выяснить, исходя из последних наблюдательных данных, насколько оправданы подобные опасения.

2. АНАЛИЗ ДАННЫХ О ВСЕМИРНОМ ВРЕМЕНИ UT1

Это исследование основано на анализе ряда всемирного времени UT1, вычисляемого IERS. Структура IERS состоит из нескольких компонентов, включая несколько центров анализа данных и вычисления различных сводных решений (Product Centers). Один из них, Earth Orientation Center, расположенный в Парижской обсерватории (ОПА), вычисляет ряды параметров вращения Земли (ПВЗ) IERS на основе комбинации различных данных, получаемых с помощью нескольких методов космической геодезии.

Основным рядом ПВЗ IERS можно, пожалуй, считать ряд ПВЗ C04, который наиболее широко используется в современных научных исследованиях и практических приложениях [8]. Ряд C04 обновляется ежедневно и содержит ежесуточные значения восьми ПВЗ (координаты полюса Земли и скорости их изменения, координаты небесного полюса, UT1–UTC и длительность суток) на 0^{h} даты, начиная с 1 января 1962 г. Последняя эпоха этого ряда приходится на 30 дней назад по отношению к текущей дате (дате публикации ряда C04 на сайте IERS). Ряд IERS C04 UT1–UTC представлен на рис. 1.

На рис. 1 видно, как атомная шкала времени UTC корректируется по астрономической шкале времени UT1, удерживая разность шкал UT1–UTC в пределах ± 0.9 с. В период с 1 января 1961 г. по 31 декабря 1971 г. в шкалу UTC было внесено 13 небольших корректировок, включая изменения ее скорости. Поэтому этот участок шкалы UTC не представляет большого интереса для научного анализа и дальнейшего рассмотрения в настоящей работе. Начиная с 1972 г., коррекция шкалы времени UTC производится только путем введения целых дополнительных секунд. Всего с начала 1972 г. было введено 28 дополнительных секунд, последняя из них на сегодняшний день 31 декабря 2017 г.

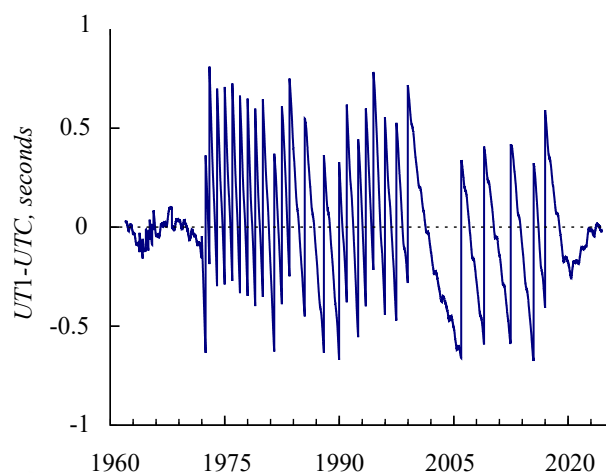


Рис. 1. Ряд IERS C04 UT1–UTC.

Обычным поведением разности шкал времени UT1–UTC до начала 2020-х гг. являлось ее уменьшение со временем, не считая небольших отклонений от монотонности из-за сезонных и декадных вариаций скорости вращения Земли. Поэтому до сих пор дополнительная секунда всегда вводилась при приближении UT1–UTC к нижней границе допустимой разности UT1–UTC, то есть к -0.9 с с некоторым запасом по времени, поскольку такая процедура всегда делается заранее и объявляется за несколько месяцев до фактической корректировки шкалы UTC. Такой запас времени необходим пользователям шкал всемирного и координированного времени для заблаговременной подготовки оборудования и программного обеспечения к скачку в UTC. Поэтому практически введение дополнительной секунды производится при приближении UT1–UTC к -0.7 с (рис. 1).

Недавнее нарушение этого ритма из-за довольно резкого перехода к существенному ускорению вращения Земли, начиная примерно с 2020 г., привело к предположению (см., напр., [7]) о вероятной необходимости введения отрицательной дополнительной секунды в шкалу времени UTC в конце текущего десятилетия, что стало бы первым случаем в истории ведения шкалы времени UTC. Ниже этот вопрос рассмотрен более подробно с целью оценить, насколько реалистичен такой сценарий в свете данных последних астрономических наблюдений за вращением Земли.

На верхней панели рис. 2 представлен ряд TAI–UT1, пересчитанный из ряда C04 UT1–UTC с использованием выражения

$$\text{TAI} - \text{UT1} = (\text{TAI} - \text{UTC}) - (\text{UT1} - \text{UTC}), \quad (1)$$

где TAI–UTC – поправка к шкале UTC, также распространяемая центрами вычисления ПВЗ IERS. Сейчас TAI–UTC составляет 37 с.

Ряд C04 TAI–UT1 был аппроксимирован полиномиальной моделью для определения глобально тренда всемирного времени на интервале последних 50+ лет поддержания шкалы UTC. Вычисления были проведены с полиномами от второй до шестой степени. Результаты этого моделирования показаны в левой части рис. 2, где представлены сравнение модели с рядом C04 (верхняя панель), отклонения «модель минус C04» (средняя панель) и результаты экстраполяции модели до 2030 г. (внизу).

Необходимость введения в UTC отрицательной дополнительной секунды может возникнуть при уменьшении TAI–UT1 до величины, меньшей

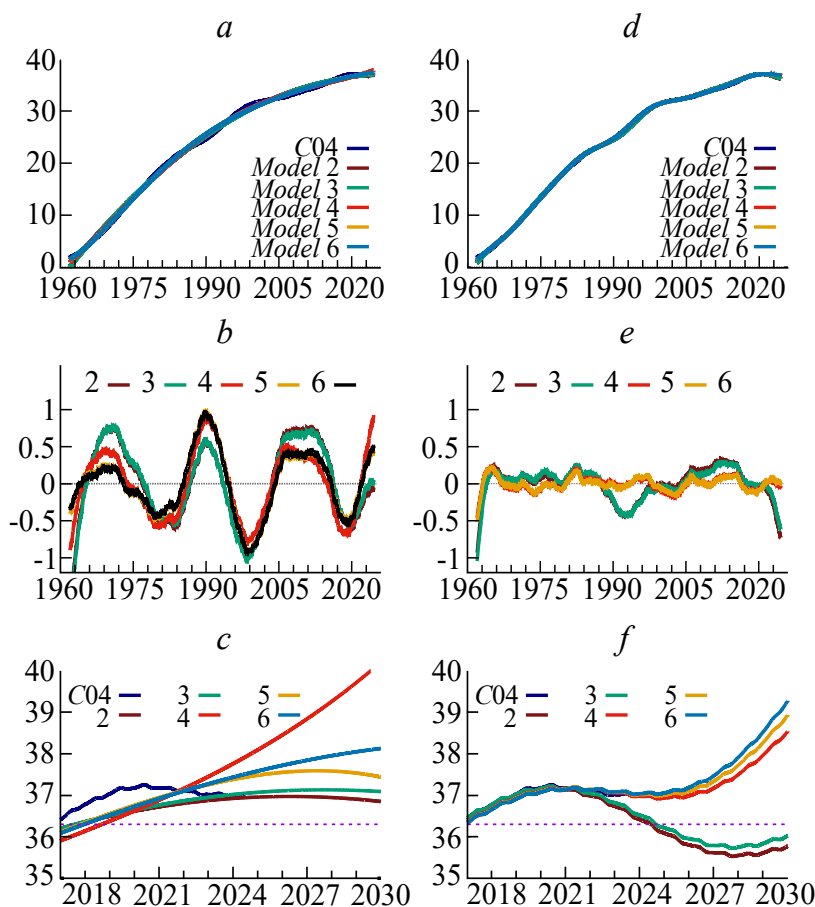


Рис. 2. Результаты аппроксимации изменений TAI–UT1 (в секундах) на интервале 1962–2024 гг. Левый столбец соответствует аппроксимации полиномом степени от 2 до 6 (порядок полинома указан в подписях к графикам), правый столбец соответствует аппроксимирующей модели, состоящей из полинома степени от 2 до 6 и четырех гармоник. В каждом столбце графики показывают: сверху — сравнение ряда IERS C04 с аппроксимирующей моделью, в центре — разности между моделью и наблюдениями, внизу — последние 7 лет данных графиков верхнего ряда с экстраполяцией до 2030 г. На нижних графиках пунктирной линией обозначено приблизительное пороговое значение TAI–UT1 (36.3 с) для принятия решения о введении отрицательной дополнительной секунды.

примерно 36.3 с или, что эквивалентно, при увеличении UT1–UTC до величины большей примерно 0.7 с. Результаты, полученные с полиномиальной моделью, показали, что все варианты модели не предсказывают достижения этого порога до начала 2030-х гг. В то же время, надо заметить, что полиномиальная модель – не лучший метод прогноза на горизонте прогноза в несколько лет, потому что она предполагает сохранение общего долговременного тренда и не учитывает последние наблюдательные данные, которые могут критическим образом повлиять на краткосрочный (по сравнению с длиной всего ряда C04) прогноз.

На рис. 2а на фоне плавного изменения TAI–UT1 хорошо заметны декадные вариации. Поэтому была предпринята попытка учесть их в уточненной модели, в которую были добавлены четыре гармонические составляющие с периодами 18.613, 12, 1 и 0.5 г., которые детальнее обсуждаются ниже. Результаты применения полиномиально–гармонической модели приведены в правой части рис. 2. Хорошо видно, что такая модель намного лучше описывает реальные вариации всемирного времени. При этом были получены близкие результаты для полиномов второй и третьей степени с одной стороны и для полиномов степени от 4 до 6 с другой стороны. Вторая группа моделей показала существенно лучшую точность аппроксимации, особенно на конце ряда, где аппроксимирующие функции с полиномами степени 2 и 3 показали существенно большие отличия от реальных данных, что может критическим образом сказаться на точности прогноза, который особенно важен для настоящей работы.

Экстраполированные данные, представленные на рис. 2f, действительно показывают неудовлетворительный результат для вариантов модели с полиномами второй и третьей степени: они резко расходятся с реальными данными, предсказывая необходимость введения отрицательной дополнительной секунды в UTC уже в середине 2024 г., чего, очевидным образом, не наблюдается. Поэтому для окончательных вычислений был выбран вариант с наименьшим во второй группе порядком полинома – четвертым. Таким образом, окончательная модель, использованная в настоящей работе, имеет вид:

$$(TAI - UT1)_{\text{mod}} = \sum_{i=0}^4 a_i^p t^i + \sum_{i=1}^4 \left(a_i^s \sin \frac{2\pi t}{P_i} + a_i^c \cos \frac{2\pi t}{P_i} \right), \tag{2}$$

где $t = t_{\text{C04}} - t_0$, t_{C04} – эпоха ряда IERS C04 в годах, t_0 – средняя эпоха ряда (при таком выборе начальной эпохи обеспечивается минимум ошибок коэффициентов), P_i – периоды гармоник в годах. Коэффициенты формулы, аппроксимирующей ряд TAI–UT1 на всем интервале с 1 января 1962 г. по 5 июня 2024 г., приведены в табл. 1. Из гармонических составляющих модели выделяется первая гармоника с периодом 18.613 лет и амплитудой 0.64 с, связанная с приливом, соответствующим периоду прецессии лунной орбиты. Ранее она уже рассматривалась в литературе [9, 10, 11]. Годовая и полугодовая периодичности в скорости вращения Земли также давно и хорошо известны. Эти две гармоники добавлены в модель для полноты, они практически не влияют на результаты настоящей работы ввиду малости их амплитуд: 24 мс и 9 мс соответственно, но могут представлять самостоятельный интерес для изучения сезонных вариаций

Таблица 1. Коэффициенты аппроксимирующей формулы для TAI–UT1 в секундах

Коэффициент	Значение	Ошибка
a_0^p	$2.7525 \times 10^{+1}$	1.1096×10^{-3}
a_1^p	5.8075×10^{-1}	8.1162×10^{-5}
a_2^p	-1.1503×10^{-2}	7.5677×10^{-6}
a_3^p	9.1062×10^{-6}	1.2736×10^{-7}
a_4^p	2.8159×10^{-6}	9.1339×10^{-9}
a_1^s	5.7398×10^{-1}	8.5065×10^{-4}
a_1^c	-2.9036×10^{-1}	9.4552×10^{-4}
a_2^s	1.8905×10^{-1}	8.5578×10^{-4}
a_2^c	-6.9516×10^{-2}	8.6960×10^{-4}
a_3^s	1.0162×10^{-2}	8.2469×10^{-4}
a_3^c	2.1670×10^{-2}	8.2520×10^{-4}
a_4^s	7.4285×10^{-3}	8.2493×10^{-4}
a_4^c	-5.3899×10^{-3}	8.2468×10^{-4}

всемирного времени.

Гармоника с периодом в 12 лет и амплитудой 0.2 с была найдена эмпирически в настоящей работе. Включение такой гармоника в модель обеспечило уменьшение остаточных разностей по сравнению с вариантом использования гармоника с периодом 11 лет, ассоциируемой с циклом Швабе солнечной активности. Наличие 11-летней периодичности в скорости вращения Земли тоже уже отмечалось в предыдущих исследованиях [10]. Очевидно, 12-летняя гармоника аккумулировала в себя некоторые дополнительные вариации всемирного времени. С другой стороны, средняя продолжительность солнечного цикла за последние 50 лет (то есть на рассматриваемом интервале дат) немного превышает 11 лет¹. В любом случае, детальное изучение этого вопроса выходит за рамки целей настоящей работы.

Гармоники с теми же периодами 18.6 и 12.0 лет и с амплитудами 0.63 с и 0.20 с соответственно, что близко к результатам настоящей работы, были также найдены Тиссенем и Малкиным [12] из обработки 100-летнего ряда наблюдений.

В изменениях всемирного времени в первую очередь выделяется общая тенденция к постепенному снижению скорости роста TAI–UT1, однако говорить о переходе к стадии значительного уменьшения TAI–UT1, по крайней мере до начала 2030-х годов, преждевременно, имея в виду сложное и плохо предсказуемое поведение скорости вращения Земли в прошлом [13, 14]. Также имеющиеся наблюдательные данные показывают чередование периодов относительного ускорения и замедления вращения Земли с основным периодом около 18.6 г. Амплитуда этих декадных колебаний не очень стабильна и изменяется примерно в интервале от 0.5 до 1 с. Увеличение разности TAI–UT1 соответствует замедлению вращения Земли, а ее уменьшение – ускорению вращения Земли. Соответственно, увеличение разности UT1–UTC, наоборот, соответствует ускорению вращения Земли, а ее уменьшение – замедлению вращения Земли.

Периоды относительного ускорения вращения Земли на фоне общего тренда наблюдаются в 1985–1990 гг., в 2000–2005 гг. и, наконец, в текущий период после 2020 г. Таким образом, интервалы времени, на которых наблюдается относительное ускорение вращения Земли, длятся около пяти лет. В эти периоды введение дополнительной

секунды в UTC требуется реже, что видно на рис. 1. Интересно отметить, что периоды уменьшения скорости вращения Земли длятся дольше периодов ее увеличения, что само по себе любопытно и заслуживает отдельного исследования.

Из данных, приведенных на рис. 1, можно видеть, что темп возрастания разности шкал времени UT1–UTC существенно снизился в последние один-два года по сравнению с началом 2020-х гг. Поэтому интересно оценить возможное поведение UT1 в ближайшем будущем, пользуясь хорошо развитыми в специализированных службах методами прогноза ПВЗ.

Кроме долговременных окончательных рядов ПВЗ IERS, вычисляемых в ОРА, другой центр IERS, Rapid Service/Prediction Center², расположенный в Военно-морской обсерватории США (USNO), вычисляет официальные оперативные данные ПВЗ IERS с прогнозом на один год вперед [15, 16, 17, 18].

На рис. 3 показаны последние 7 лет ряда всемирного времени IERS C04 с годовым прогнозом USNO и с двухлетним прогнозом, рассчитанный автором методом, описанным в работе [19]. На рисунке также представлен результат экстраполяции аппроксимирующей функции, заданной формулой (2), с коэффициентами, приведенными в табл. 1, на ближайшие два года. Прогноз на более длительный период не выглядит разумным. Примечательно хорошее согласие между прогнозом, основанным на экстраполяции аппроксимирующей функции (коричневая линия), и прогнозами, вычисленными другими методами в USNO и автором (ZM).

График прогноза из работы [7] на рис. 3 построен на основе числовых файлов, прилагаемых к онлайн-версии этой статьи. При этом учтено, что и в статье и в файлах фактически приведены данные не для TAI, как указано, а для TT = TAI + + 32.184 (С.А. Agnew, частное сообщение). Хорошо заметно, что этот прогноз показывает значительное смещение по вертикальной оси начала прогноза относительно конца ряда IERS C04 величиной около 0.3 с, наблюдаемое также в работе [7, рис. 2d]. Предположительно, такое смещение может быть вызвано неполнотой геофизической модели, использованной для описания реального вращения Земли.

¹ <https://www.sidc.be/SILSO/cyclesmm>

² <https://maia.usno.navy.mil/>

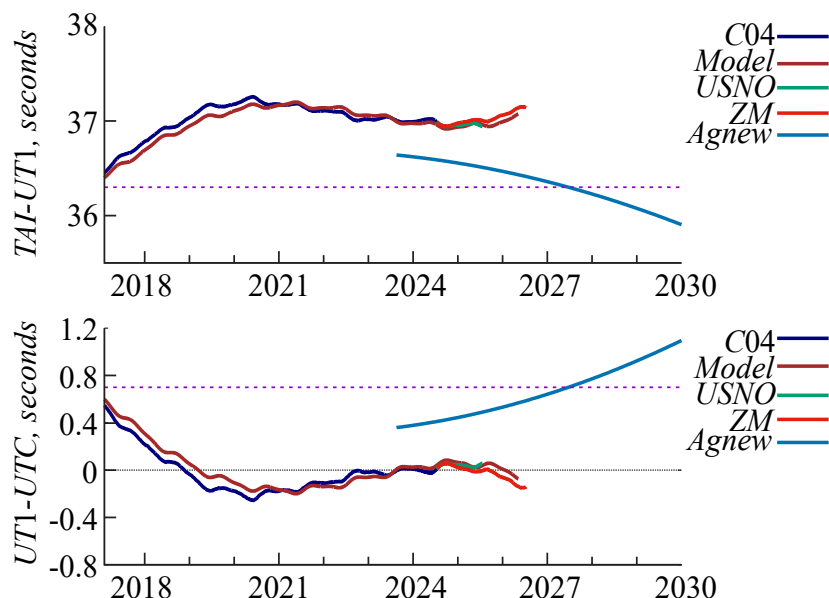


Рис. 3. Последние 7 лет ряда всемирного времени IERS C04 в виде $TAI-UT1$ (верхняя панель) и $UT1-UTC$ (нижняя панель) с годовым прогнозом USNO, двухлетним прогнозом автора (ZM) и прогнозом из работы [7]. Коричневая линия соответствует аппроксимирующей модели, описываемой формулой (2). Пунктирными линиями обозначены приблизительные пороговые значения $TAI-UT1$ (36.3 с) и $UT1-UTC$ (0.7 с) для принятия решения о введении отрицательной дополнительной секунды.

Хотя результаты прогнозов всемирного времени, представленные на рис. 3, несколько различаются, все они предсказывают, что ускорение вращения Земли должно прекратиться в течение ближайшего времени и не предполагают возобновления ускорения вращения Земли до 2030-х годов. Это противоречит выводу, сделанному в работе [7], который предполагает, наоборот, рост ускорения вращения Земли после 2023–2024 г.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании изучалось поведение всемирного времени $UT1$ в последние десятилетия с использованием данных о вращении Земли IERS и их прогноза. В результате этой работы было показано, что аномальное ускорение вращения Земли, наблюдаемое с начала 2020-х гг., в последнее время значительно замедлилось. Текущий прогноз всемирного времени говорит о том, что период ускорения вращения Земли должен закончиться в течение ближайших двух лет и, скорее всего, смениться замедлением, что более характерно для поведения скорости вращения Земли в последние десятилетия, так же как в более отдаленной ретроспективе, хотя и на фоне декадных флуктуаций [13, 14].

Таким образом, высказанное в работе [7] предположение об ожидающемся нарастающем

увеличении скорости вращения Земли в ближайшие годы и, как следствие, о возможной необходимости впервые с начала существования шкалы времени UTC введения в нее отрицательной дополнительной секунды во второй половине 2020-х гг., по всей видимости, не имеет под собой достаточных оснований. Причиной такого существенного расхождения между результатами настоящей работы и результатами [7], по-видимому, является неполнота принятой в работе [7] геофизической модели, не отражающей с достаточной точностью реальных особенностей вращения Земли, а также различный подход к прогнозу всемирного времени.

Несколько последних прогнозов всемирного времени, представленные на рис. 3, не предсказывают существенного уменьшения разности $TAI-UT1$ во второй половине 2020-х гг., а скорее показывают намечающуюся тенденцию к переходу к стадии ее роста. Таким образом, результаты, полученные в настоящей работе, являются существенным уточнением результата [7] в свете последних наблюдательных данных.

Из рассмотрения всего 60-летнего ряда всемирного времени, используемого в настоящей работе, видно, что результаты астрономических наблюдений показывают общую тенденцию к замедле-

нию скорости вращения Земли. Это отражается в увеличении разности шкал времени TAI–UT1. Однако, скорость роста этой разности со временем падает и величина TAI–UT1 даже немного уменьшилась после 2020 г. (рис. 2). Однако, говорить о долговременной тенденции к дальнейшему уменьшению этой разности явно преждевременно. Последние прогнозы всемирного времени, сделанные автором и в USNO, показывают, что если трендовые и декадные изменения скорости вращения Земли останутся устойчивыми в ближайшее годы, можно с большой вероятностью утверждать, что в ближайшие годы не произойдет достижения верхней границы допустимой разности UT1–UTC. В настоящее время мы находимся на нисходящей ветви 18-летнего цикла (для TAI–UT1, см. рис. 2 и 3), которая вскоре должна смениться восходящей.

В этой связи интересно также отметить результаты, полученные в работах [11, 20]. Авторы изучили декадные вариации длительности суток (LOD) на интервале времени 1830–2020 гг. и выделили в них гармоническую составляющую с периодом около 60 лет и значительной амплитудой около 2 мс (которая, согласно предположению авторов, может быть суперпозицией 90-летних и 20–40-летних колебаний). Согласно этим результатам эта (квази)60-летняя волна вносит основной вклад в отклонение наблюдаемых изменений LOD от линейного тренда, определяемого вековым приливным замедлением Земли. В настоящее время эта декадная волна в LOD находится на минимуме и вскоре должен начаться новый период увеличения LOD, а значит замедления вращения Земли. Это соответствует результатам настоящей работы и является дополнительным объяснением наблюдаемых вариаций всемирного времени в последние годы и их текущего прогноза.

На основании всего изложенного можно предположить, что следующее приближение разности UT1–UTC к верхней границе около 0.7 с (или разности TAI–UT1 к нижней границе около 36.3 с) произойдет не ранее начала 2030-х гг.. В то же время, активно обсуждаемый в последние годы план пересмотра стратегии поддержания шкалы времени UTC [21, 22] в случае его реализации может сделать эту проблему к тому времени неактуальной.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит трех рецензентов за весьма полезные замечания и предложения по первоначальному варианту статьи. При подготовке статьи использовалась реферативная база SAO/NASA Astrophysics Data System¹ (ADS). Рисунки были подготовлены с помощью программы gnuplot².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *D.D. McCarthy*, IEEE, Proc. ISSN 0018-9219 79, 915 (1991).
2. *В.Е. Жаров*, Сферическая астрономия (Фрязино: Изд-во Век 2, 2006) .
3. IERS Conventions (2010), edited by *G. Petit and B. Luzum*; IERS Technical Note No. 36 (Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010).
4. *B. Guinot and E. Felicitas Arias*, Metrologia 42(3), S20 (2005).
5. *R.A. Nelson, D.D. McCarthy, S. Malys, J. Levine, B. Guinot, H.F. Fliegel, R.L. Beard, and T.R. Bartholomew*, Metrologia 38(6), 509 (2001).
6. *G. Panfilio and F. Arias*, Metrologia 56(4), id. 042001 (2019).
7. *D.C. Agnew*, Nature 628, 333 (2024).
8. *C. Bizouard, S. Lambert, C. Gattano, O. Becker, and J.Y. Richard*, J. Geodesy 93(5), 621 (2019).
9. [9] *R.D. Ray and S.Y. Erofeeva*, J. Geophys. Res. Solid Earth 119(2), 1498 (2014).
10. *J.L. Le Mouél, F. Lopes, V. Courtillot, and D. Gibert*, Phys. Earth and Planetary Interiors 292, 1 (2019).
11. *L. Zotov, C. Bizouard, N. Sidorenkov, A. Ustinov, and T. Ershova*, J. Physics. Conf. Ser. 1705(1), id. 012002 (2020).
12. *В.М. Туссен and З.М. Малкин*, Вестн. СПбГУ. Сер. 1: Математика. Механика. Астрономия 8(66), 167 (2021).
13. *F.R. Stephenson, L.V. Morrison, and C.Y. Hohenkerk*, Proc. Royal Soc. London. Series A 472(2196), id. 20160404 (2016).
14. *L.V. Morrison, F.R. Stephenson, C.Y. Hohenkerk, and M. Zawilski*, Proc. Royal Soc. London. Series A 477(2246), id. 20200776 (2021).
15. *D.D. McCarthy and B.J. Luzum*, Bull. Geodesique 65(1), 22 (1991).
16. *B.J. Luzum, J.R. Ray, M.S. Carter, and F.J. Josties*, GPS Solutions 4(3), 34 (2001).
17. *N. Stamatakis, M. Davis, and N. Shumate*, in: Proc. of the Journees 2019 Astrometry, Earth Rotation, and Reference Systems in the GAIA era, held 7–9 October 2019 in

¹ <https://ui.adsabs.harvard.edu/>

² <http://www.gnuplot.info/>

- Observatoire de Paris, Paris, France, edited by C. Bizouard, pp. 99 (2020).
18. IERS Annual Report 2019, edited by *W.R. Dick and D. Thaller*, Intern. Earth Rotation and Reference Systems Service, Central Bureau (Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2023).
 19. *Z. Malkin and E. Skurikhina*, Comm. Institute Appl. Astronomy RAS 93, 1 (1996), arXiv:0910.3336 [physics.geo-ph].
 20. *L. Zotov, C. Bizouard, and N. Sidorenkov*, in: Proc. of the 19th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences-Society (AOGS 2022) (World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2023), pp. 153.
 21. Resolution 4 of the 27th CGPM (2022) On the use and future development of UTC, <https://www.bipm.org/en/cgpm-2022/resolution-4/>.
 22. The future of Coordinated Universal Time, edited by D. Bogdan-Martin, ITU News Magazine № 2(2023) (2023), https://www.itu.int/en/itu-news/Documents/2023/2023-02/2023_ITUNews02-en.pdf.

SHOULD WE EXPECT FURTHER ACCELERATION OF THE EARTH'S ROTATION IN THE COMING YEARS?

Z. M. Malkin

Pulkovo Observatory, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: malkin@gaoran.ru

Recently, it was suggested in the literature that the difference between universal and coordinated time UT1–UTC could reach a large positive value in the coming years (Agnew 2024). This would make it necessary to introduce a negative leap second into UTC for the first time in history, which in turn will cause serious problems in time keeping and synchronization systems around the world. Based on the latest Earth's rotation and Universal Time data published by the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) and their prediction, this paper shows that the acceleration trend observed over the past four years is likely to return to slowing down soon. Therefore, fears about the possible need to introduce a negative leap second into the UTC time scale in the next few years in the light of recent observational data seem unfounded.

Keywords: rotation of the Earth, speed of the Earth's rotation, time scales, Universal Time