

**Особенности вращения Земли и Эль-Ниньо Южного колебания в 2020-е годы.**

*Зотов Л.В.<sup>1,2</sup>, Сидоренков. Н.С.<sup>3</sup>, Марчукова О.В.<sup>4</sup>*

*Чуйкова Н.А.<sup>1</sup>, Максимова Т.Г.<sup>1</sup>*

[lzotov@hse.ru](mailto:lzotov@hse.ru)

<sup>1</sup>*Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета Высшая школа экономики, Россия*

<sup>2</sup>*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия*

<sup>3</sup>*Гидрометцентр РФ*

<sup>4</sup>*Тюменский государственный Университет, Россия*

**Abstract:** Since strong El Nino 2016 the tendency of acceleration of the Earth rotation has been observed. In 2022 the Earth rotation velocity reached maxima comparable with those happened 90 years ago. Triplet of La Nina accompanied this case. Chandler wobble of the pole almost disappeared in 2017-2020, which was earlier observed only in the end of 1920-s. In 2022 the free core nutation (FCN) signal also weakened. In the works [1-3] the hypothesis that these events are caused by the apsidal-nodal features of the orbital motion of the Moon were put forward. We compare the anomalies in the Earth rotation and lunar motion with the time series, characterizing El Nino Southern Oscillation (ENSO) and quasibiannual oscillation (QBO), trying to reveal the interconnections and dependence on the common external cause.

**Аннотация:** С момента сильного Эль Ниньо 2016 года наблюдается тенденция на ускорение вращения Земли. В 2022 году скорость вращения планеты достигла максимума, сравнимого с максимумом 90 – летней давности. Ситуация сопровождалась триплетом Ла-Нинья. Чандлеровское движение полюса (ЧДП) в 2017-2020 году практически затухло, что ранее наблюдалось в конце 1920-х годов. В 2022 году также ослаб сигнала свободной нутации ядра (СНЯ). В работах [1-3] выдвинута гипотеза об обусловленности этих аномалий апсидально-нодальными особенностями в орбитальном движении Луны. Мы проводим сопоставление аномалий во вращении Земли и движений Луны с рядами, характеризующими Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) и квазидвухлетнюю осцилляцию в попытках обнаружения взаимосвязи и их обусловленности единой общей причиной.

*Ключевые слова:* вращение Земли, LOD, Эль-Ниньо, климатические изменения

### **1 Особенности вращения Земли в последние годы**

Вращение Земли – предмет исследований геодезии, астрометрии, геофизики. В XIX веке повышение точности наблюдений позволило обнаружить колебания широт (положений полюса), а с появлением кварцевых часов в первой половине XX века проявилась и неравномерность угловой скорости вращения планеты [2,4]. На рис 1а представлены аномалии длительности суток LOD (в миллисекундах) из бюллетеня EOP C04 Службы вращения Земли ([hpiers.obspm.fr/eop-pc/](http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/)). На фоне многолетних (20-25 лет) колебаний присутствуют годовые и внутригодовые колебания. С 2016 г из-за ускорения вращения планеты LOD начала уменьшаться и достигла минимума в 2022 г. На рис. 1б представлена траектория движения полюса Земли с 1842 г. в земной системе координат (TRF). Основными ее компонентами являются дрейф полюса, годовое колебание и Чандлеровское движение полюса (ЧДП) с периодом 433 суток и переменной амплитудой около 0,1 сек дуги (3 м на поверхности планеты). В 1930-е и 2020-е годы ЧДП затухло, что отчетливо видно на рис 2а.

Земля – это волчок, находящийся в гравитационном поле окружающих его небесных тел. Момент сил со стороны Луны и Солнца вызывает прецессию и нутацию оси в инерциальной системе, которая хорошо моделируется моделью IAU 2000. Наблюдения показывают её незначительные отклонения от реального положения оси вращения планеты в небесной системе координат CRF – смещения небесного полюса CPO dX, dY, которые, наряду с LOD, и x и y координатами полюса составляют пять параметров вращения Земли

(ПВЗ). На рис. 2б показано СРО (dX) с 1985 года. На фоне шумов проступает 430-суточный сигнал свободной нутации ядра FCN [5]. Её амплитуда держится на уровне 0.2 миллисекунды дуги, но в 2000 и 2022 году заметно снижается. Из представленных данных ПВЗ можно заключить, что в 2020-е годы во вращении Земли проявился ряд аномалий.

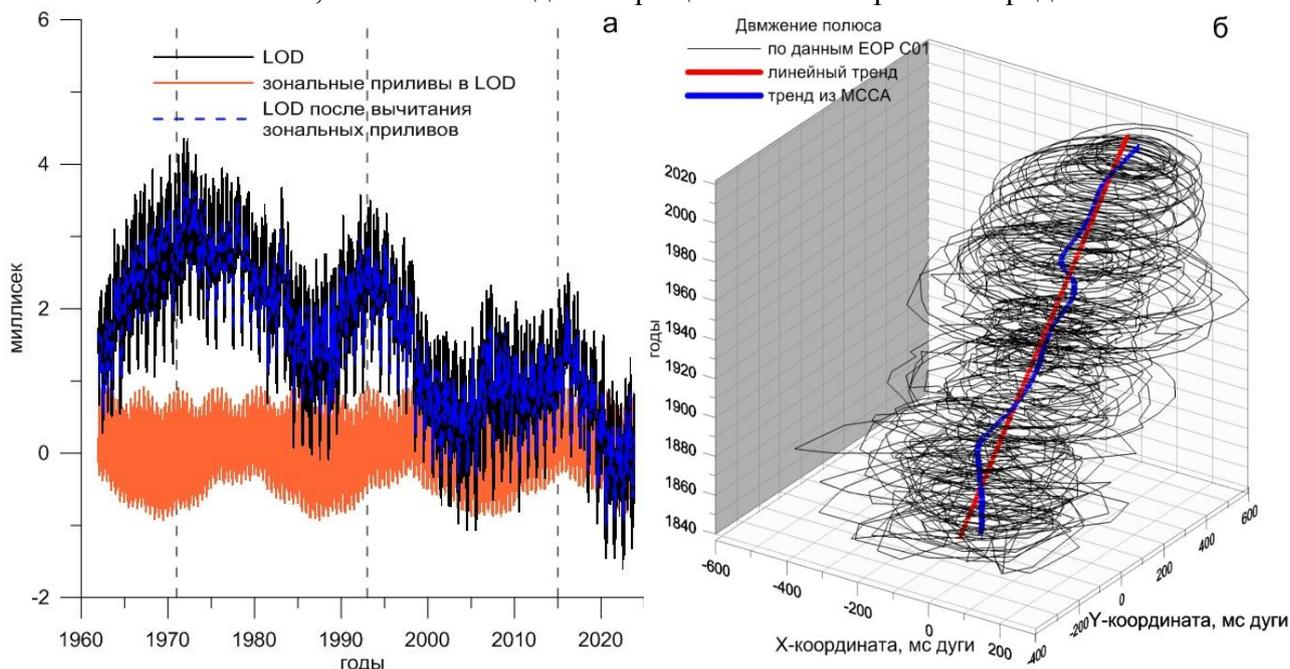


Рисунок 1. Изменения длительности суток LOD (а) и движения полюса (б).

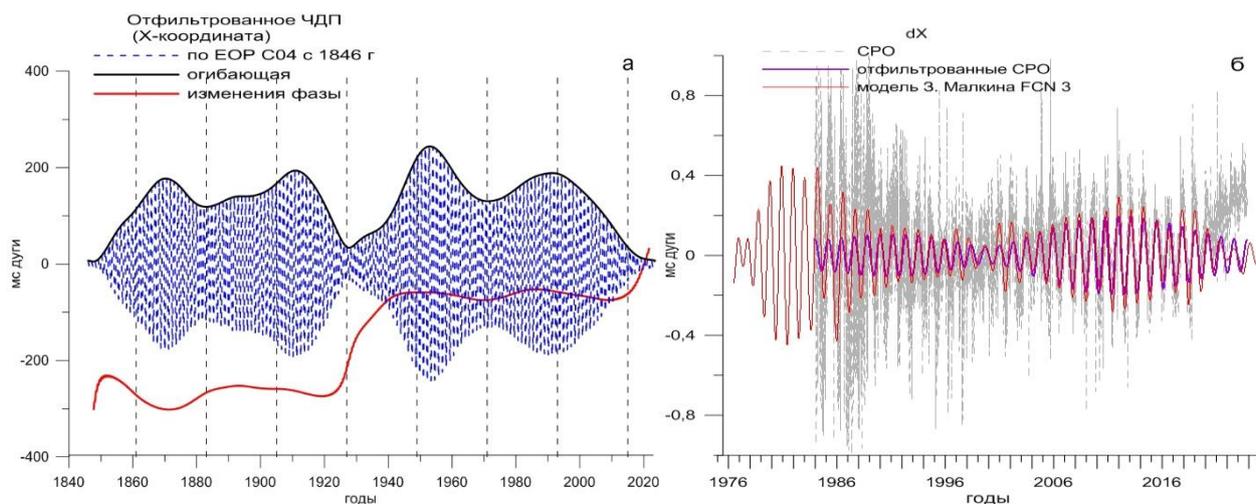


Рисунок 2. Выделенное Чандлеровское колебание (а) и изменения СРО (б).

## 2 Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) и квазидвухлетнее колебание QBO

Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) представляет собой квази-периодическую осцилляцию в глобальной климатической системе и является первой модой разложения температуры поверхности Мирового океана (ТПО) [6]. ЭНЮК включает в себя две фазы: положительную (явления Эль-Ниньо) и отрицательную (явления Ла-Нинья). События Эль-Ниньо соответствуют теплым (положительным) аномалиям ТПО в экваториальном секторе Тихого океана, а события Ла-Нинья – холодным (отрицательным) аномалиям ТПО. Возникновение и развитие ЭНЮК – это сложный механизм, как в пространственном, так и во временном масштабах. К примеру, может формироваться два пространственных вида аномалий ТПО – Центрально-Тихоокеанский (ЦТ) и Восточно-Тихоокеанский (ВТ) типы, как Эль-Ниньо [7], так и Ла-Нинья [8]. Кроме этого, существуют различия в амплитуде и пространственной асимметрии между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья. А явления Ла-Нинья, в отличие от Эль-Ниньо, могут длиться два и три года подряд [9].

ЭНЮК способно вызвать экстремальные явления в различных частях мира, особенно в случаях его положительной фазы. Явление Эль-Ниньо 2015–2016 годов было одним из трех экстремальных событий (1983, 1997) с 1980-х годов, по некоторым данным – сильнейшим за последние 145 лет. Потепление 2015–2016 гг. было беспрецедентным в центрально-экваториальной части Тихого океана. Засухи, вызванные Эль-Ниньо 2015–2016 гг, создали острую нехватку продовольствия в различных регионах, включая восточную и южную часть Африки и гибель тропических лесов в Центральной Америке [10].

Для определения событий ЭНЮК используют индекс Nino3.4 или связанный с ним ONI, представляющий собой среднемесячные аномалии ТПО в районе 5°N–5° Ю.Ш. и 170°–120°З.Д. Используется также атмосферный индекс SOI [2], характеризующий разность атмосферного давления на станциях Таити и Дарвин. Использованный нами комбинированный индекс BEST (<https://psl.noaa.gov/people/cathy.smith/best/>) получен усреднением океанического и атмосферного индексов [3].

Квазидвухлетние колебания (QBV) – это изменение направления зонального ветра в стратосфере над тропиками с периодом колебания от 24 до 30 месяцев. В 2016 и 2020 гг. впервые за историю наблюдений в QVO произошел сбой [11]. QVO и ЭНЮК являются доминирующими режимами изменения ветров и климата в стратосфере и тропосфере над тропиками на межгодовом временном масштабе и между ними существует тесная связь.

### **3 Сопоставление Вращения Земли, ENSO и QVO с движениями Луны.**

Перечисленные в разделе 1 декадные колебания ПВЗ связывают с геомагнитными джерками, обменом угловым моментом на границе ядро-мантия [5]. Изменения океанического (ОАМ) и атмосферного (ААМ) углового момента хорошо согласуются с годовыми и внутригодовыми колебаниями LOD, до некоторой степени они обуславливают и ЧДП. Однако 20-летние и 90-летние циклы СРО, LOD и затухание ЧДП влиянием ААМ и ОАМ объяснить не удастся. Еще меньше роль изменений сжатия Земли и вариаций уровня моря, наблюдаемых спутниками GRACE, GFO и космической альтиметрией. В работах [1-3] выдвинута гипотеза лунной обусловленности не только вариаций ПВЗ, но и QVO и ЭНЮК. Объем данной статьи не позволяет нам подробно описать, каким образом изменения ориентации линии узлов и аписид влияет на лунные приливы. Мы лишь кратко поясним то, что показано на рис. 3. Вверху желто-зеленым показан индекс QVO. Период смены положительной и отрицательной фаз составляет около 28 месяцев. Вертикальными черными линиями показаны даты событий перигейных полнолуний, которые повторяются каждые 14 месяцев. Перигейные сизигии показаны кружками, нанесенными на линию, отражающую склонение этих событий. Поскольку перигей оборачивается с запада на восток за 8.85 года, перигейные полнолуния происходят то к северу, то к югу от экватора. Склонение, до которого уходит Луна, определяется наклоном ее орбиты и положением линии узлов. Регрессия узлов с востока на запад занимает 18.6 года. В оранжевой кривой зональных приливов этот цикл отражен в нижней огибающей: размах прилива максимален, когда восходящий узел находится вблизи точки весеннего равноденствия (белые звезды) и диапазон склонений составляет ~28.5°, минимален – когда узел в осеннем равноденствии (диапазон ~18,5°).

Нами замечено [3], что цикл взаимного смещения узлов и перигея занимает 186 лет и на половине цикла – в 1927 и 2020 ЧДП полностью исчезает со сменой фазы (рис. 2а). Близость периода повторения перигейных полнолуний (412 сут) к периоду ЧДП (433 сут) может вызывать 22-летние биения его амплитуды (вертикальные линии на рис 1а. 2а). Удвоенный период в 28 месяцев совпадает с периодом QVO. Как видно из рис. За наблюдаются годы, когда положительная (желтым) фаза QVO приходится ближе к перигейным полнолуниям и годы, когда она смещается на перигейные новолуния. Если механизм QVO связан с лунными событиями, он должен сказываться и на ЭНЮК. На рис. 3б представлен индекс ЭНЮК BEST, черными полосками отмечены наиболее выраженные события Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Розовыми треугольниками отмечены даты встреч перигея и

узла, которые происходят каждые 6 лет на разных склонениях. Отметим, что в 2024 году треугольник расположен ближе всего к нулю склонения, что означает встречу на экваторе вблизи точки весеннего равноденствия. Ранее подобные события в точке осеннего равноденствия, повторялось в 1922 и в 1940 гг. Последнее событие сопровождалось выраженным Эль-Ниньо, которое мы также ожидаем в 2024 г.

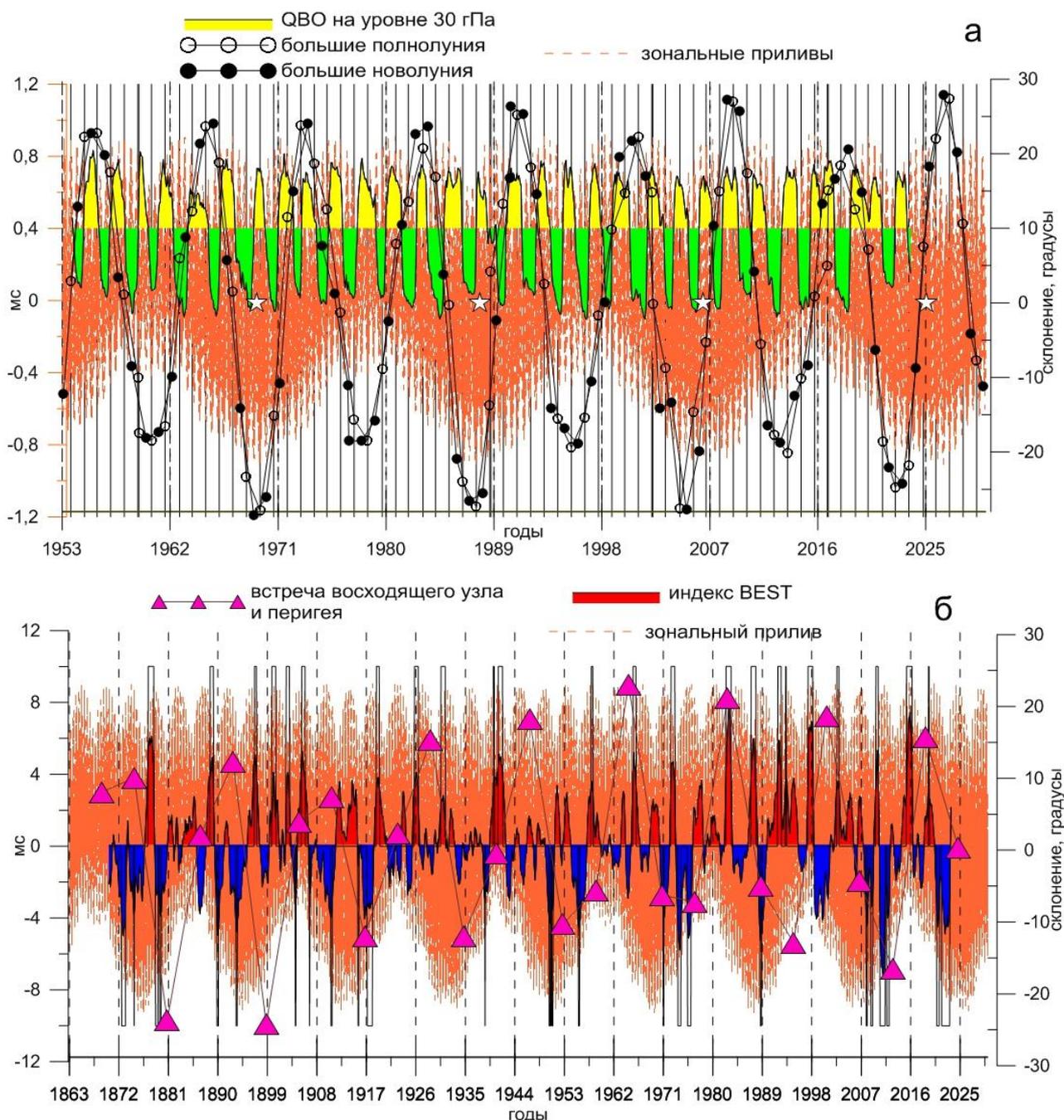


Рисунок 3. Индекс QBO, зональный прилив и сизигии в перигее (а). Индекс ЭНЮК BEST, зональный прилив и встречи узла с перигеем (б).

### Заключение

В данной работе мы поднимаем вопрос – случайны ли аномалии во вращении Земли, зачастую совпадающие с экстремальными событиями ЭНЮК. Речь идет не об усилении западного переноса во время сильных Эль-Ниньо, увеличивающих LOD на  $\sim 0.1$  мс, а о декадных максимумах и минимумах и возникновениях сильнейших Эль-Ниньо и триплетов Ла-Нинья с интервалами в  $\sim 20$ -30 лет. Если движения линии апсид и узлов лунной орбиты, сказываясь на приливах, синхронизуют то и другое, то в кажущемся случайным ряде явлений

должна быть скрыта динамика этого космического фактора. QBO видится нам связующим звеном, наиболее чётко соответствующим 14-месячным повторениям сизигийных полнолуний. Дрейф узлов на фоне цикла прецессии находит отражение в череде затмений. Причиной модуляций ЧДП и LOD нам видится синхронизация между движениями линий Лунных узлов и апсид - апсидально-нодальные резонансы. Отследить такого рода эффекты в геофизике (сейсмичности, вулканизме, метеорологических и климатических явлениях) до сих пор достоверно не удавалось. Если вращение Земли даст нам убедительное свидетельство наличия в “жизни планеты” откликов на такого рода эффекты, это будет ключом для понимания их роли и в названных выше процессах.

### **Features in the Earth rotation and El Nino Southern Oscillation in 2020-s.**

*Zotov L.V.<sup>1,2</sup>, Sidorenkov N.S.<sup>3</sup>, Marchukova O.V.<sup>4</sup>,*

*Chujkova N.A.<sup>2</sup>, Maximova T.G.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Moscow Institute of Electronics and Mathematics*

*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Sternberg Astronomical Institute Lomonosov Moscow State University*

<sup>3</sup>*Hydrometcenter of Russia*

<sup>4</sup>*Tumen State University*

### **Список литературы**

1. Wison Ian R.G. and Nikolay S. Sidorenkov A Luni-Solar Connection to Weather and Climate II: Extreme Perigean New/Full Moons and El Niño Events, 2019, The General Science Journal, doi:10.13140/RG.2.2.20846.87362
2. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли, С. Петербург. Гидрометеиздат, 2002
3. L. Zotov, Anomalies in the Earth rotation and Syzygies in Perigee, Industry 4.0 VIII, Iss. 5, p. 166-168, 2023, WEB ISSN 2534-997X; PRINT ISSN 2534-8582
4. Зотов Л.В. Климатические процессы и вращение Земли. М. МИЭМ 2022.
5. Modiri, S.; Heinkelmann, R.; Belda, S.; Malkin, Z.; Hoseini, M.; Korte, M.; Ferrándiz, J.M.; Schuh, H., Towards Understanding the Interconnection between Celestial Pole Motion and Earth's Magnetic Field Using Space Geodetic Techniques, Sensors, 2021, 21(22):7555, doi:10.3390/s21227555
6. Messie, M. & Chavez, F. Global modes of sea surface temperature variability in relation to regional climate indices, 2011, J Climate 24, 4314–4331
7. Zheleznova I.V., Gushchina D.Yu. Circulation anomalies in the atmospheric centers of action during the Eastern Pacific and Central Pacific El Niño, Russian Meteorology and Hydrology. 2016. V. 41. P. 760–769. DOI: 10.3103/S1068373916110030
8. Voskresenskaya, E.N., Marchukova, O.V., 2017, Spatial classification of La Nina events. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 53, 111–119, doi:10.1134/S0001433817010133
9. Wu, X., Y. M. Okumura, C. Deser, and P. N. Dinezio, 2021: Two-year dynamical predictions of ENSO event duration during 1954–2015. J. Climate, 34(10), 4069–4087, doi:10.1175/JCLI-D-20-0619.1
10. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, Cambridge University Press. UK and NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
11. Anstey, J. A., Banyard, T. P., Butchart, N., Coy, L., Newman, P. A., Osprey, S., & Wright, C. J., Prospect of increased disruption to the QBO in a changing climate, 2021, Geophysical Research Letters, 48, e2021GL093058. <https://doi.org/10.1029/2021GL093058>
12. Zotov L., N. Sidorenkov, Ch. Bizouard, 2022, Anomalies of the Chandler Wobble in 2010s, Moscow University Physics Bulletin, Vol. 77, N. 3, pp.55-58, DOI:10.3103/S0027134922030134
13. Yamaguchi R, Furuya M. The First-time Absence of the Chandler Wobble since 2015 and its Implications for Excitation Processes., 2022, PPR539023, doi:10.21203/rs.3.rs-1995985/v1.