

УДК 551.524.33<<2010>>(47)

Биения колебаний температуры как причина аномально жаркого лета 2010 г. на европейской территории России

Н. С. Сидоренков*, К. А. Сумерова*

Приведены объяснения причин аномальной жары летом 2010 г. в центральных областях европейской территории России. Показано, что это событие произошло из-за биения солнечного годового (365 сут) и лунного годового (355 сут) колебаний температуры воздуха. Для обоснования этого вывода приведены сведения о синхронизации изменений синоптических процессов с приливными колебаниями скорости вращения Земли, о природе лунных циклов, проиллюстрированы свидетельства их существования в изменениях температуры воздуха. Выявлена последовательность аномально жарких летних сезонов в 1901, 1936 (1938), 1972, 2010 гг., подтверждающая существование 35-летнего периода биений температуры воздуха. Предложен механизм влияния лунно-солнечных приливов на температуру воздуха, основанный на взаимодействии гравитационных лунно-солнечных приливов с радиационными условиями в атмосфере (из-за изменения количества облачности).

1. Введение

Летом 2010 г. на европейской территории России наблюдалась чрезвычайно жаркая погода. В Московском регионе максимальная температура воздуха в отдельные дни достигала 38—39°C, были превышены многие суточные и абсолютные максимумы температуры. Всего за три месяца в Москве было зафиксировано 22 случая с рекордно высокой температурой. Аномальная жара продолжалась в Московском регионе 60 дней. Еще более жаркая погода наблюдалась в Поволжье и Центрально-Черноземных областях. Жара способствовала возникновению лесных и болотных пожаров, нанесла существенный ущерб природе, животному миру, населению и хозяйству на европейской территории России.

В настоящее время эту жару связывают с глобальным потеплением климата, публикуются сценарии последствий глобального потепления. Однако в действительности, как будет показано ниже, аномальная жара в 2010 г. была вызвана явлением биения колебаний. В 2010 г. на европейской территории России фазы солнечного годового колебания температуры совпали с фазами основных лунных циклических колебаний температуры, произошло сложение их амплитуд. В итоге результирующая амплитуда годовых колебаний температуры воздуха оказалась катастрофически большой.

Для понимания этого необходимо познакомиться с лунно-солнечными приливами, с явлением синхронизации вариаций атмосферной циркуляции

* Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации; e-mail: sidorenkov@mecom.ru.

колебаниями лунно-солнечных приливов. Необходимо вспомнить основные лунные циклы и проанализировать спектральную структуру колебаний температуры.

2. Генерация приливов

Земля и Луна вращаются вокруг общего центра тяжести (барицентра) системы Земля — Луна с сидерическим (относительно звезд) периодом 27,3 сут. Земля описывает орбиту, которая является зеркальным отображением орбиты Луны, но размеры ее в 81 раз меньше лунной орбиты. Барицентр всегда располагается внутри Земли на расстоянии примерно 4670 км от ее центра [4]. Тело Земли обращается без вращения (поступательно) вокруг неподвижного (в системе Земля — Луна) барицентра. В результате такого месячного движения Земли на все земные частицы действует такая центробежная сила, как и в центре масс Земли. Сумма векторов центробежной силы и силы притяжения Луны называется приливной силой Луны. Аналогично определяется приливная сила Солнца.

Величина приливной силы есть функция склонения и геоцентрического расстояния Луны (или Солнца). Амплитуда месячных колебаний склонения Луны изменяется с периодом 18,61 года от 29 до 18° из-за прецессии оси (регрессии узлов) лунной орбиты. Перигей лунной орбиты движется с периодом 8,85 года. Склонение и геоцентрическое расстояние Солнца изменяются с периодом год. Земля вращается вокруг собственной оси с суточным периодом. В итоге амплитуда колебаний лунно-солнечных приливных сил изменяется во времени с периодами 18,61, 8,85, 6,0, 1, 0,5 года, месячным, полумесячным, недельным, суточным, полусуточным и многими другими менее значимыми периодами. Все эти периоды колебаний приливной силы действуют на вариации атмосферной циркуляции [5, 7, 10]. Механизм этого воздействия еще не совсем ясен. Прямое воздействие кажется маловероятным из-за малости лунно-солнечных приливных сил. Наиболее вероятен механизм вынужденной синхронизации вариаций атмосферной циркуляции колебаниями лунно-солнечных приливов.

3. Синхронизация колебаний

Напомним, что синхронизация колебаний — это согласование частот, фаз и других характеристик сигналов взаимодействующих колебательных систем (осцилляторов). В данном случае рассмотрена синхронизация частот вариаций атмосферной циркуляции и частот колебаний лунно-солнечных приливов. Существует два основных типа синхронизации колебаний: взаимный, при котором установившаяся в результате синхронизации частота колебаний близка к среднему значению парциальных частот, и принудительный (или захватывание частоты), при котором частота одного из осцилляторов (называемого синхронизирующим) остается неизменной, а частота других подстраивается под нее [2]. Для первого типа синхронизации характерно тесное взаимовлияние систем друг на друга, для второго — одностороннее влияние синхронизирующего осциллятора на остальные осцилляторы и отсутствие обратной связи.

4. Скорость вращения Земли как индекс приливных колебаний

Приливные деформации Земли оказывают заметное влияние на скорость суточного вращения Земли. Напомним, что из-за суточного вращения Земля имеет форму эллипсоида вращения со сжатием 1/298. Приливообразующая сила растягивает Землю вдоль прямой, соединяющей ее центр с центром возмущающего тела (Луны или Солнца). При этом величина сжатия Земли увеличивается, когда ось растяжения совпадает с плоскостью экватора, и уменьшается, когда ось растяжения отклоняется к тропикам. Момент инерции сжатой Земли больше, чем недеформированной шарообразной планеты. А поскольку момент импульса Земли должен оставаться постоянным, то скорость вращения сжатой Земли меньше, чем недеформированной. Ввиду того, что склонения Луны и Солнца, а также расстояния от Земли до Луны и Солнца постоянно меняются, лунно-солнечная приливообразующая сила колеблется во времени. Соответствующим образом меняется сжатие Земли, что в конечном итоге и вызывает приливные колебания скорости вращения Земли.

Теория приливных колебаний скорости вращения Земли основана на теории лунно-солнечного приливного потенциала. В настоящее время для вычисления приливных колебаний скорости вращения Земли в службах времени используются 62 гармоники зонального прилива с периодами от 5 сут до 18,6 года [4]. Наиболее значительными из них являются колебания с полумесячным, месячным и полугодовым периодами (рис. 1).

Скорость вращения Земли характеризуется относительной величиной

$$v = \frac{\delta\omega}{\Omega} = \frac{\omega - \Omega}{\Omega} \approx -\frac{\Pi_3 - T}{T} \equiv -\frac{\delta\Pi}{T}, \quad (1)$$

где Π_3 — длительность земных суток; T — длительность стандартных (атомных) суток, которая равна 86 400 с; $\omega = 2\pi/\Pi_3$ и $\Omega = 2\pi/86\,400$ рад/с — угловые скорости, соответствующие земным и стандартным суткам [4]. Поскольку величина ω изменяется только в девятом-восьмом знаке, то значения v имеют порядок 10^{-9} — 10^{-8} .

Как видно на рис. 1, на котором приведены вычисленные приливные колебания скорости вращения Земли v на 2012 г., на протяжении лунного месяца друг друга сменяют четыре режима вращения Земли неравной продолжительности: два периода ускорения длительностью m_1 и m_3 и два периода замедления длительностью m_2 и m_4 . Смена режимов происходит в среднем через $m \approx 27,3/4 = 6,8$ сут. Однако из-за медленного движения перигея и узлов лунной орбиты этот период варьируется от 5 до 9 сут. Например, в 2012 г. со 2 по 8 мая отмечалось ускорение, с 8 по 13 мая — замедление, с 13 по 22 мая — ускорение и с 22 по 30 мая — замедление, т. е. лунный месяц сложился из интервалов $6 + 5 + 9 + 8$ сут (рис. 1). Внутри месяца возможны любые комбинации значений m_i в диапазоне от 5 до 9 сут. Неизменным здесь остается лишь месячный период, равный 27,3 сут.

Скорость вращения Земли v варьируется преимущественно внутри сидерического месяца (27,3 сут). В течение этого периода Луна перемещается из своего крайнего положения в Северном полушарии, когда ее положи-

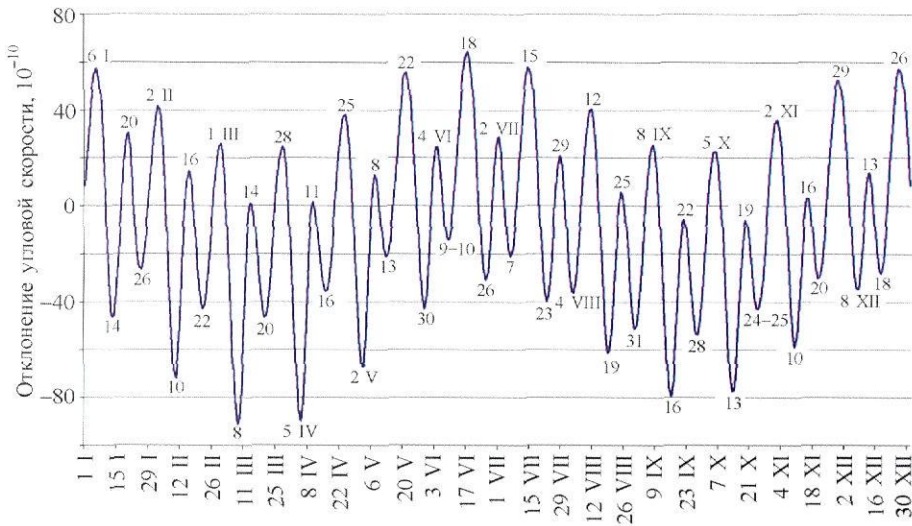


Рис. 1. Прогноз приливных колебаний скорости вращения Земли v на 2012 г.

Цифрами отмечены даты наступления максимумов и минимумов v .

тельное склонение максимально, к минимальному отрицательному склонению в Южном полушарии и затем снова возвращается в Северное полушарие к максимальному склонению. При этом скорость вращения Земли испытывает два полумесячных колебания с максимумами при максимальном удалении Луны от экватора Земли как в Северное, так и в Южное полушарие и минимумами при пересечении Луной экватора. На скорость вращения Земли оказывают влияние и солнечные приливы, изменяющиеся из-за вариаций склонения и геоцентрического расстояния Солнца. Солнечные приливы порождают колебания с полугодовым (182,62 сут) и годовым (365,25 сут) периодами. Как видно по ходу огибающей полумесячных колебаний v на рис. 1, максимумы скорости вращения Земли наблюдаются в июне и в декабре, но из-за некратности лунного месяца солнечному году от одного декабрьского максимума до другого проходит либо 13, либо 14 лунных сидерических месяцев, т. е. лунно-солнечный приливный год имеет длительность либо 355, либо 382 сут. Под лунно-солнечным годом здесь понимается интервал времени, содержащий целое число лунных месяцев и максимально близкий к солнечному году. Большая часть лунно-солнечных приливных лет имеет продолжительность 355 сут. Период 355 сут является единицей меры времени лунных календарей и называется лунным годом. Его длительность наиболее близка к продолжительности тропического года ($P_1 = 365,2422$ сут), лежащего в основе солнечного календаря.

Помимо лунного года имеются еще более длительные циклы: октаетерис (греч. — восьмилетний промежуток времени), он длится 99 синодических (относительно Солнца) месяцев, или 8 лет, сарос (223 месяца, или 18,03 лет), по прошествии которого затмения Луны и Солнца повторяются приблизительно в прежнем порядке, цикл Метона (235 месяцев, или 19 лет), по прошествии которого фазы Луны повторяются в те же дни солнеч-

ного года, индекс (358 месяцев, или 28,95 лет), по прошествии которого затмения повторяются примерно на тех же географических долготах, и др.

5. Закономерности вариаций гидрометеорологических величин

Мониторинг приливных колебаний скорости вращения Земли, эволюции синоптических процессов в атмосфере, режимов атмосферной циркуляции и вариаций гидрометеорологических величин во времени показал, что большая часть типов синоптических процессов в атмосфере меняется синхронно с приливными колебаниями вращения Земли. На ретроспективных данных проверено, как часто экстремумы угловой скорости v совпадают с моментами перестроек элементарных синоптических процессов [6]. Статистический анализ показал, что в 76% случаев моменты экстремумов угловой скорости v совпадают в пределах ± 1 сут с датами перестроек элементарных синоптических процессов. В 24% случаев моменты экстремумов v отличались на два дня и более от ближайших дат перестроек элементарных синоптических процессов [6].

Таким образом, было установлено, что изменения синоптических процессов в атмосфере синхронизованы с приливными колебаниями скорости вращения Земли v . Выяснилось, что продолжительность естественных синоптических периодов и длительность режимов вращения Земли m_i совпадают. Приливные колебания скорости вращения Земли обусловлены лунно-солнечными зональными приливами, следовательно, и изменения естественных синоптических периодов вызваны приливами.

Для проверки этого вывода были вычислены спектры экваториальных компонентов момента импульса атмосферы h_1 и h_2 , которые четко показали полное преобладание гармоник лунно-солнечных приливов [5, 7, 10]. Более того, когда был вычислен спектр среднесуточных значений экваториального компонента h_2 , оказалось, что основной максимум спектральной плотности отмечается не на периоде P_1 солнечного года, равном 365 сут, а на периоде лунного года $P_2 = 355$ сут [7, 10]. Компонент h_2 характеризует вращение атмосферы относительно оси Ox_2 , лежащей в экваториальной плоскости и направленной из центра Земли к точке с координатами $\varphi = 0^\circ$, $\lambda = 90^\circ$ в. д. То есть угловая скорость вращения атмосферы относительно оси Ox_2 изменяется с периодом лунного года $P_2 = 355$ сут. Этот факт свидетельствует о доминирующем влиянии лунных приливов на формирование меридиональной циркуляции атмосферы над Атлантическим и Тихим океанами (вдоль большого круга меридианов 0 и 180°). В спектрах индекса квазидвухлетней цикличности ветра в экваториальной стратосфере (QBO), аномалий некоторых гидрометеорологических величин также был обнаружен период P_2 , а не P_1 .

Период P_2 — это период наибольшей автокорреляции временного ряда приливных колебаний скорости вращения Земли v [5, 10]. Сдвинем кривую v предыдущего года на 355 сут вперед, чтобы 11 января предшествующего года стали 1 января нового года, и получим почти полное совпадение всех деталей приливных колебаний v текущего года (рис. 1). Солнечные приливы дают максимальную корреляцию при сдвиге 365 сут, а лунные — через каждый сидерический месяц. Поэтому максимум максимума

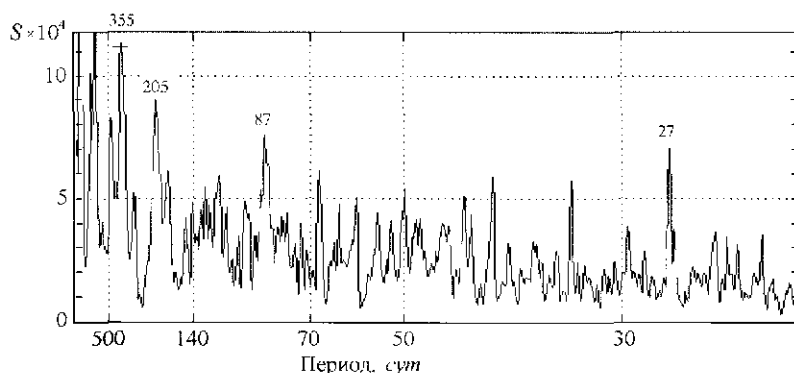


Рис. 2. Спектр аномалий температуры воздуха S в г. Москва.

На фоне белого шума выделяются составляющие с периодами 355, 205, 87 и 27 сут.

рум автокорреляционной функции отмечается при сдвиге 355 сут (13 сидерических месяцев). Большой максимум автокорреляционной функции имеется также при сдвиге 382 сут (14 месяцев). В работе [8] показано, что синхронизация цикличности синоптических процессов и аномалий температуры происходит преимущественно на лунных циклах (355, 367, 382 сут), близких к солнечному году. Возможна также синхронизация вблизи цикла Метона — 19 лет. Синхронизация происходит не на каких-то постоянных частотах, а на частотах, которые нужно всегда переопределять по данным текущих наблюдений.

Найдены тесные связи между лунно-солнечными приливами и вариациями метеорологических величин. Например, когда был проведен спектральный анализ ряда аномалий температуры воздуха в Москве за 1960—2003 гг., то обнаружили хорошо выраженные составляющие с периодами лунного года 355 сут, лунного периода 206 сут, четверти лунного года 87 сут и лунного сидерического месяца 27 сут (рис. 2).

Цикл 206 сут возникает из-за вращения большой оси лунной орбиты относительно большой оси земной орбиты. Перигей лунной орбиты совершает один оборот за 8,85 года, а перигелий земной орбиты — за год. Перигей встречается с перигелием через каждые 412 сут. Но оси лунной и земной орбит становятся коллинеарными через каждые 206 сут. Описанная цикличность взаимных конфигураций двух орбит воздействует на лунные и земные процессы. Например, продолжительность лунного аномалистического месяца (т. е. промежутка времени между двумя последовательными прохождениями Луны через перигей) изменяется с этим периодом 206 сут от 28,5 до 24,8 сут [1]. Земля в движении вокруг барицентра зеркально отражает все движения Луны. Поэтому она имеет такие же вариации скорости месячного обращения вокруг барицентра с периодом 206 сут.

6. Биения колебаний температуры

Солнце обеспечивает радиационный форсинг и порождает колебания всех земных характеристик с периодом 365,24 сут. Эти годовые колеба-

ния взаимодействуют с лунными циклами. В результате амплитуды годовых колебаний гидрометеорологических величин периодически изменяются во времени, возникают явления биений.

Биения возникают при сложении двух колебаний с близкими частотами. Сумма двух колебаний с одинаковой амплитудой, но с разными частотами f_1 и f_2 равна

$$\cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t = 2 \cos \frac{2\pi(f_1 - f_2)t}{2} \cos \frac{2\pi(f_1 + f_2)t}{2}. \quad (2)$$

Последний косинус в правой части выражения (2) описывает колебание, частота которого равна средней частоте исходных колебаний. Первый косинус описывает медленное изменение его амплитуды во времени, которое называют биением. Амплитуда увеличивается и уменьшается с удвоенной частотой $(f_1 - f_2)$, а не с частотой $(f_1 - f_2)/2$, как можно было подумать на основании формулы (2). Происходит это потому, что амплитуда есть абсолютная величина отклонения от среднего значения рассматриваемой величины. Первый косинус описывает два пуга (пакета) колебаний с высокой частотой $(f_1 + f_2)/2$, а понятие цикл предполагает один пуг (пакет) высокочастотных колебаний. Поэтому частота цикла или частота биения равна $(f_1 - f_2)$, а не $(f_1 - f_2)/2$. Чем ближе частоты суммируемых колебаний, тем больше период биений.

Рассмотрим, например, воздействие лунного годового цикла $f_1 = 1/355$ сут на годовые колебания температуры воздуха $f_2 = 1/365,24$ сут. В этом случае $(f_1 + f_2)/2 = 1/360$ сут, а $(f_1 - f_2)/2 = 1/12869$ сут = $1/35,2$ лет. То есть из-за воздействия лунного годового (355 сут) цикла на солнечные годовые (365 сут) колебания температуры или других гидрометеорологических величин возникают биения с периодом примерно 35 лет. Этот цикл был замечен еще в конце XIX в. [9] и имеет название цикл Брикнера.

Биение — это периодическое изменение амплитуды результирующего колебания. Когда фазы суммируемых колебаний совпадают, их парциальные амплитуды складываются, и амплитуда результирующего колебания становится максимальной. Затем фазы колебаний постепенно расходятся, и амплитуда результирующего колебания уменьшается. Она минимальна при разности фаз, равной 180° , когда амплитуды суммируемых колебаний вычитаются.

В Москве, по климатическим данным, среднесуточная температура T достигает минимума -10°C в январе, а максимума 20°C в июле, т. е. амплитуда ее солнечного годового (365 сут) колебания равна примерно $(20 - (-10))/2 = 15^\circ\text{C}$, а среднегодовая температура составляет $(-10 + 20)/2 = 5^\circ\text{C}$. В 2010 г. среднемесячные аномалии температуры были в январе -6°C , а в июле 8°C (амплитуда 7°C). В 1972 г. аномалии были в январе -6°C , а в июле 4°C (амплитуда 5°C). Основной вклад в эти аномалии вносит лунное 355-суточное колебание. Допустим, что его амплитуда равна 5°C . Построим график суммы этих двух колебаний:

$$T = 5 + 15\cos 2\pi t/365 + 5\cos 2\pi t/355,$$

где 5°C — среднегодовая температура в Москве; t — время в сутках, отсчитываемое от 1 января 1972 г. Этот момент принят за начальный потому, что в 1972 г. однозначно (без повторов) наблюдались аномально жаркое

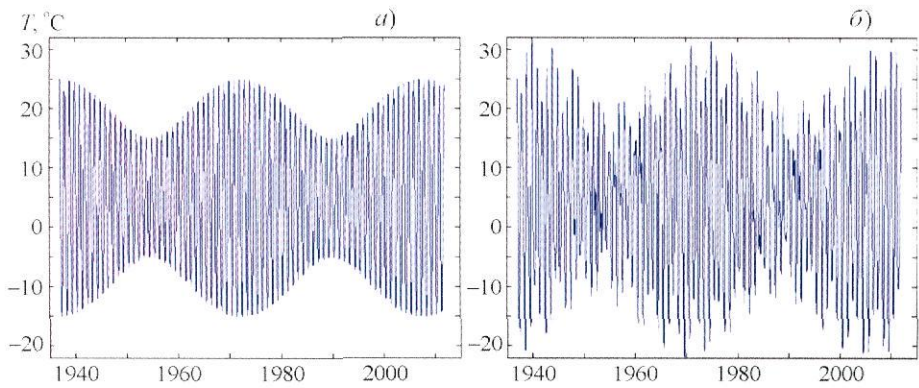


Рис. 3. Модель биений температуры воздуха T с двумя (a ; $T = 5 - 15\cos 2\pi t/365 + 5\cos 2\pi t/355$) и четырьмя гармониками (b ; $T = 5 + 15\cos 2\pi t/365 + 5\cos 2\pi t/355 - 4\sin 2\pi t/182,6 + 5\sin 2\pi t/206$).

лето и холодная зима, т. е. фазы солнечного и лунного годовых колебаний совпадали. На рис. 3а представлено результирующее колебание T с 1937 по 2012 г. В 1972 г. фазы солнечного (365 сут) и лунного (355 сут) годовых колебаний температуры T совпали, поэтому амплитуды этих двух колебаний сложились: $15 + 5 = 20^\circ\text{C}$, и амплитуда результирующего колебания T составила примерно 20°C . Поскольку среднегодовая величина $T = 5^\circ\text{C}$, то среднесуточная температура в июле достигала 25°C , а в январе понижалась до -15°C . Поэтому лето 1972 г. на европейской территории России было аномально жарким, а зима — холодной. В последующие годы фазы колебаний T расходились, и амплитуда результирующего колебания T постепенно уменьшалась. В 1990 г. разность фаз достигла 180° , и амплитуда уменьшилась до минимума $15 - 5 = 10^\circ\text{C}$. Зима стала теплой, а лето прохладным. С 1991 по 2007 г. фазы колебаний T сходились, амплитуда постепенно увеличивалась, и в 2007 г. она снова достигла максимального значения 20°C .

Таким образом, при сближении фаз солнечного и лунного годовых колебаний T результирующая амплитуда T увеличивается, а при расхождении фаз — уменьшается. Из-за такого хода температуры в 1930-е, 1970-е годы и в первое десятилетие XXI в. на европейской территории России часто отмечались холодные зимы и жаркие летние сезоны (склонность к континентальному климату), а в 1950-е и 1990-е годы сильные морозы и жаркие летние сезоны отмечались реже обычного (склонность к морскому климату).

В спектре колебаний температуры имеется большой пик на периоде 206 сут. Он взаимодействует с полугодовым солнечным периодом 182,6 сут, в результате возникают биения с периодом 4,4 года ($1/182,6 - 1/206 = 1/1614$ сут = $1/4,4$ года). Из-за таких биений 35-летний цикл изменения амплитуды годового колебания температуры сильно затушевывается (рис. 3б). Вместо постепенного изменения амплитуды T (рис. 3) наблюдается разброс лет с жаркими и холодными сезонами. Так, наряду с 1972 г. умеренно жаркие летние сезоны были также в 1975, 1979, 1981 гг., а холодные зимы наблюдалась в 1969, 1972, 1976 и 1978/79 гг. При приближе-

нии нового момента совпадения фаз (около 2007 г.) снова участились жаркие и засушливые летние сезоны (2002, 2007, 2010 гг.) и холодные зимы (2002, 2006, 2010 гг.). Сначала может создаться впечатление, что экстремумы T на рис. 3б меняются не периодически, а случайным образом. Так, возникают “двойники” типа экстремумов в 1936 и 1938 гг. вместо 1937 г., в 2002 и 2010 гг. вместо 2007 г.

Аналогом для 2010 г. может быть 1972 г., который памятен нынешнему поколению жителей европейской территории России по чрезвычайно жаркому лету и горящим болотам (рис. 4а), а также 2002 г. Сдвиг на рис. 4 возникает, в первую очередь, потому, что лунные циклы не крагны солнечному году.

Мы провели исследования и проанализировали столетние ряды наблюдений температуры воздуха на метеостанциях европейской территории России с суточной дискретностью (по данным ВНИИГМИ-МЦД, <http://aisori.meteo.ru.ClimateR>). Отмечено, что холодные зимы и жаркие летние сезоны наблюдались в годы, близкие к 2002 (2010), 1972, 1936 (1938) и 1901 гг. Замстим, что в эти же годы наблюдались изменения многолетних (~10 лет) режимов скорости вращения Земли, смена эпох атмосферной циркуляции и тенденций изменения температуры Северного полушария [4, 10].

Лучшими аналогами для теплого сезона 1972 г. оказались 1938 и 1901 гг., которые тоже были чрезвычайно жаркими. Как видно на рис. 4б, в 1938 г. летом аномалии температуры были сопоставимы с летними аномалиями 2010 г. По каталогу [3], где приведены индексы засушливости за август и сентябрь по экономическим районам основной зернопроизводящей зоны СССР за 1891—1983 гг., 1938 г. является самым засушливым за весь период как по большинству экономических районов, так и по всей европейской части СССР. 1938 год сходен с 1936 г., когда также было жаркое лето и ход аномалий похож на их ход в 1938 г. Поэтому последовательность жарких летних сезонов на европейской территории России в 1901, 1936 (1938), 1972 и 2010 гг. связана, в первую очередь, с 35-летними биениями температуры воздуха. В 2010 г. к этому эффекту прибавились еще эффекты удвоенного 19-летнего цикла Мстона (аналог 1972 г.), 8-летнего субцикла октаетерис (в августе и сентябре 2002 г. на европейской территории России тоже горели торфяники и леса), 29-летнего цикла инекс (лето 1981 г. было жарким и засушливым) и других менее значимых лунных циклов. В 2010 г. фазы этих циклов совпали, амплитуды сложились, и поэтому результирующая амплитуда достигла катастрофических значений.

Заметим, что жара на европейской территории России в 1936 (1938), 1972, 2002 (2010) и 2011 гг. наблюдалась во вторую половину лета и часто продолжалась в сентябре. Например, в 1938 г. жара в центральных областях Европейской России началась 2 июля и закончилась только в середине сентября. По продолжительности она почти на 15 дней была больше, чем в 2010 г. Очаги аномальной жары и отсутствия осадков локализуются в областях диаметром порядка тысячи километров. Именно в них возникают условия, при которых происходит самовозгорание торфяников из-за биохимических превращений. Болотные пожары являются хорошим естественным индикатором аномально жарких летних сезонов.

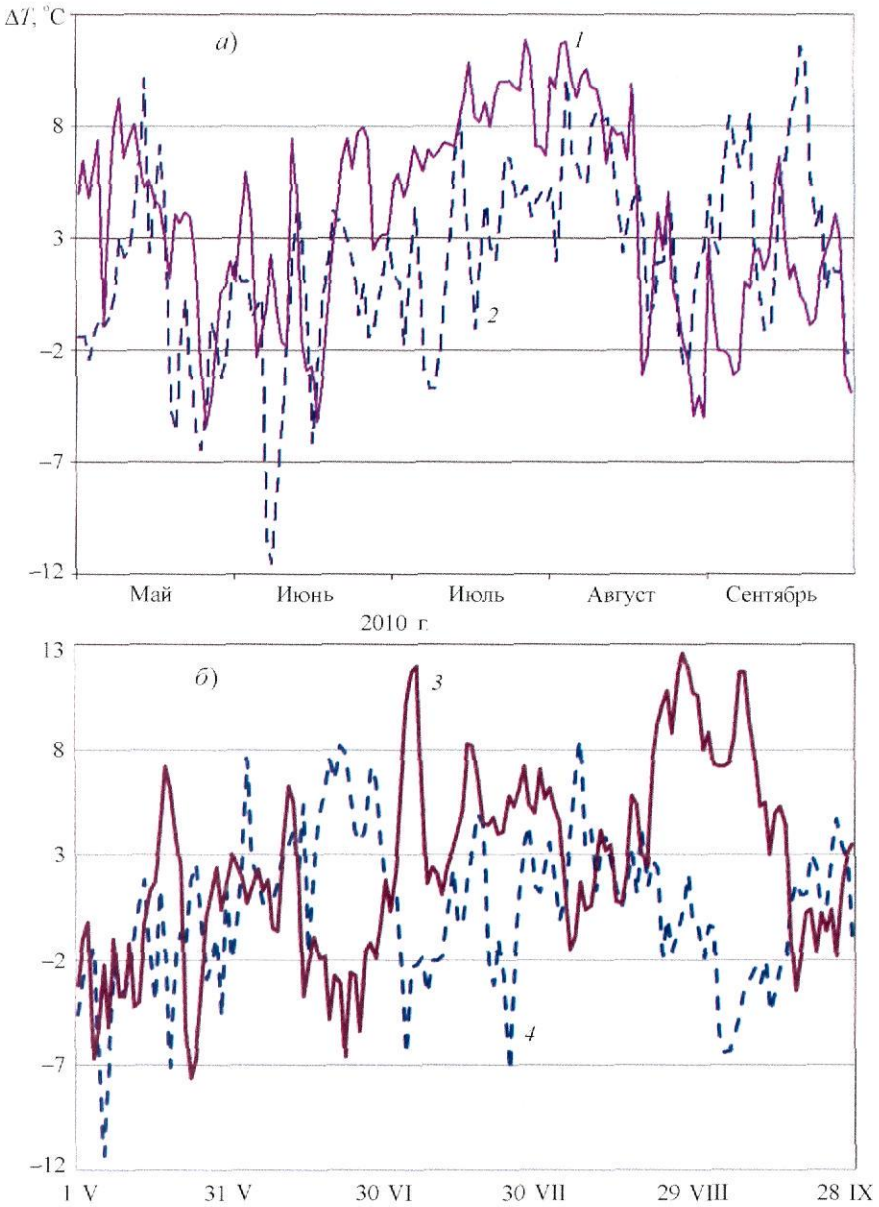


Рис. 4. Временной ход аномалий температуры воздуха ΔT в Москве за теплый период 2010 (1) и 1972 гг. (2) (а) и с 1 мая по 30 сентября в 1938 (3) и 1901 гг. (4) (б).

На рис. 4а аномалии 1972 г. сдвинуты на 28 суток вправо, т. е. 1 мая 2010 г. соответствует 2 апреля 1972 г. Коэффициент корреляции 0,48; на рис. 4б кривая 1901 г. в среднем на 2,2°C лежит ниже кривой 1938 г. Это произошло из-за потепления климата, которое наблюдалось с 1903 по 1939 г. Используются нормы за период с 1961 по 1990 г.

Совместно с лунными циклами проявляют себя и циклы больших планет, прежде всего Юпитера и Сатурна, периоды обращений которых (11,86 и 29,46 лет) имеют общее наименьшее кратное, равное 60, и находятся почти в точном резонансе 5 : 2. Циклы 60 и 30 лет лежат в основе древних ка-

лендарей. Они проявляются и в гидрометеорологических процессах. Достаточно вспомнить жестокие засухи на европейской территории России в 1891, 1921, 1951 и 1981 гг. В эти годы летом были не только засухи, но и высокая температура. Среднемесячные аномалии температуры воздуха в Европейской России в июле 2011 г. тоже достигли редких по повторяемости значений. Например, в Москве она составила $5,2^{\circ}\text{C}$. За всю 130-летнюю историю наблюдений — это третье по величине значение после 2010 ($7,8^{\circ}\text{C}$) и 1938 гг. ($5,3^{\circ}\text{C}$). В 2011 г. на европейской территории России засушливых условий не было, но по аномалии температуры он подтвердил существование 60- и 30-летних циклов.

Ясно, что жара 2010 г. в Европейской России — это результат биения не только температурных колебаний, но и колебаний всех других гидрометеорологических величин (давления, ветра, облачности и т. д.). Такие условия соответствуют малоподвижным блокирующим антициклонам, которые еженедельно регенерируют почти в одном и том же районе в течение длительного времени. Есть веские основания полагать, что регенерировать его заставляют аномальные гравитационные силы, возникающие в процессе медленного изменения взаимного положения Луны, Земли, Солнца, вращения их больших осей, движения узлов их орбит, изменения их орбитальных параметров [10].

7. Механизм формирования 35-летних колебаний климата

Каким образом Луна может влиять на температуру воздуха и приводить к изменениям климатических условий от континентальных до морских при неизменности физико-географических условий местности? Дело в том, что приливы влияют на количество облачности в атмосфере. От амплитуды и фазы лунного прилива зависит балл облачности в месте наблюдения.

При ясной погоде днем атмосфера разогревается солнечной радиацией, а ночью выхолаживается из-за инфракрасного излучения. Летом день длится существенно дольше ночи, максимальна и полуденная высота Солнца над горизонтом. Поэтому летом при ясной погоде атмосфера постепенно разогревается солнечной радиацией, и в итоге наблюдаются положительные аномалии температуры. Зимой день короткий, ночь длится очень долго, а полуденная высота Солнца над горизонтом минимальна. Поэтому зимой при ясной погоде атмосфера постепенно выхолаживается из-за инфракрасного излучения, и, как следствие, наблюдаются отрицательные аномалии температуры.

Итак, при отрицательной аномалии облачности в течение года лето должно быть жарким, а зима — холодной. Как отмечалось выше, такие аномалии температуры наблюдались в годы, близкие к 2010, 1972, 1936 (1938) и 1901 гг. Значит, в интервалы времени, близкие к этой последовательности лет, должны наблюдаться отрицательные аномалии количества облачности.

При облачной погоде значительно уменьшается поступление солнечной радиации днем, но зато ночью существенно уменьшаются потери тепла из-за инфракрасного излучения. Поэтому при облачной погоде знаки аномалий температуры воздуха изменяются на обратные: летом преобладают

отрицательные аномалии, а зимой — положительные. Итак, при положительной аномалии облачности в течение года лето должно быть прохладным, а зима — теплой. Такие условия наблюдались в годы, близкие к 1990, 1954 и 1919 гг. Значит, в интервалы времени, близкие к этой последовательности лет, должны наблюдаться положительные аномалии количества облачности.

Чтобы проверить реальность изложенного выше механизма формирования биений годовых колебаний температуры, предпринимались попытки найти длительные ряды наблюдений за облачностью с суточной дискретностью. Однако выяснилось, что с 1935 по 1965 г. данные об облачности есть только в кодах, из которых невозможно получить средний балл облачности за сутки. С помощью заведующей метеорологической обсерваторией МГУ Е. И. Незваль и главных научных сотрудников ВНИИГМИ-МЦД А. И. Неушкина и Б. Г. Шерстюкова были получены ряды сумм продолжительности солнечного сияния за каждый месяц с 1955 по 1990 г. по станции ВВЦ (27612) и за каждый день с 1966 по 2010 г. по наблюдениям обсерватории МГУ. По наблюдениям обсерватории МГУ были вычислены месячные суммы продолжительности солнечного сияния с 1991 по 2010 г. В итоге был получен ряд месячных сумм продолжительности солнечного сияния в Москве с 1955 по 2010 г. Продолжительность солнечного сияния измеряется по записям гелиографа и является объективной характеристикой количества облачности на небе за день.

Продолжительность солнечного сияния имеет ярко выраженный годовой ход. Чтобы отфильтровать его, были взяты месячные суммы продолжительности солнечного сияния и вычислены их скользящие средние за 12 месяцев суточные значения с 1956 по 2010 г. (рис. 5).

Средняя за 55 лет продолжительность солнечного сияния составляет 4,8 ч в день. Проявляется положительный линейный тренд (примерно 0,25 ч за 54 года). На рис. 5 видно, что положительные аномалии солнечного си-

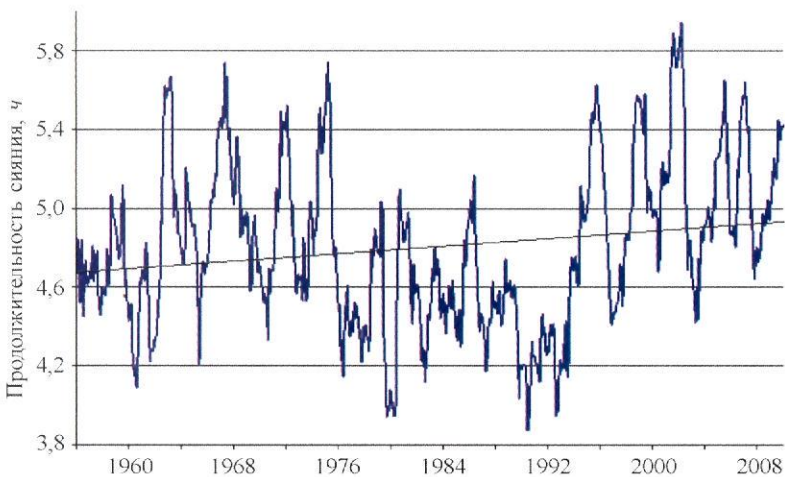


Рис. 5. Скользящее среднее за 12 месяцев значение суточной продолжительности солнечного сияния в Москве с 1956 по 2010 г.

Отметка года соответствует июлю. Уравнение линейного тренда: $y = 0,0004x + 4,41$.

яния преобладали с 1963 по 1975 г. и с 1995 по 2010 г., отрицательные аномалии наблюдались с 1956 по 1962 г. и с 1976 по 1994 г. Такой ход свидетельствует о существовании генерируемого Луной 35-летнего цикла в продолжительности солнечного сияния, а значит — и количества облачности. Максимальная продолжительность солнечного сияния (5,9 ч) отмечалась в 2002 г., а минимальная (около 3,9 ч) — в 1990 и 1993 гг. В годы с жаркими летними сезонами и холодными зимами средняя продолжительность солнечного сияния за день была примерно на 1,5 ч (31%) больше, чем в годы с прохладными летними сезонами и теплыми зимами.

Итак, ход продолжительности солнечного сияния коррелирует с изменением годовой амплитуды температуры воздуха и тем самым подтверждает предположение о том, что взаимодействие гравитационных лунно-солнечных приливов с радиационными условиями в атмосфере (из-за изменения количества облачности) создает колебания суточных и годовых аномалий температуры воздуха с лунными периодами и с амплитудами, зависящими от физико-географических условий местности. В Москве амплитуда основного 355-суточного лунного колебания аномалий температуры составляет около 5°C. Именно поэтому в спектре аномалий температуры на рис. 2 имеется большой пик на периоде 355 сут.

Положительный линейный тренд солнечного сияния тоже хорошо согласуется с заметным повышением температуры воздуха на европейской территории России за последние 40 лет. Так что наблюдающееся с 1972 г. потепление, возможно, связано с увеличением продолжительности солнечного сияния.

Таким образом, влияние лунно-солнечных приливов на радиационные условия в атмосфере и океане является основным механизмом вынужденной синхронизации атмосферных процессов колебаниями лунно-солнечных приливных сил, рассмотренной в работе [8].

Бытует мнение, что эффекты гравитационных приливов должны быть однозначными на глобальных пространственных масштабах. Многолетний опыт свидетельствует о том, что в моменты экстремумов приливных сил в оболочках Земли действительно почти везде наблюдаются изменения, но знаки этих изменений везде различны. Проявление лунно-солнечных приливов в атмосфере имеет локальный характер. Происходит это потому, что приливные волны, которых в современных разложениях приливного потенциала выделяют уже до 28 000 составляющих, двигаясь в атмосфере, отражаются от орографических препятствий, барических и термических неоднородностей и интерферируют между собой, создавая пеструю интерференционную картину. Работы по ее изучению не проводились. Судя по результатам исследования океанских приливов, в атмосфере могут существовать узловые амфидромические точки (точки, в которых высота прилива в любой момент времени равна нулю), где приливные колебания отсутствуют, и пучности, где приливы усиливаются в десятки раз. Скорость движения приливных волн может как увеличиваться, так и замедляться в зависимости от траекторий движения и состояния атмосферы и океана. Поэтому оптимальные аналоги, как правило, осуществляются со сдвигами во времени.

8. Выводы

Лунные циклы (355, 206 сут, 19 лет и др.) оказывают существенное влияние на изменчивость аномалий температуры воздуха.

Из-за взаимодействия солнечно обусловленных годовых колебаний гидрометеорологических величин с многочисленными лунными циклами возникают биения. Холодная зима и аномально жаркое лето в 2010 и 2011 гг. на европейской территории России явились ярким примером таких биений гидрометеорологических величин.

Сложение колебаний температуры с периодами солнечного (365 сут) и лунного (355 сут) года порождает основной 35-летний цикл биений, в результате которого климат постепенно изменяется от континентального (при совпадении фаз) до морского (при расхождении фаз на 180°).

Влияние лунно-солнечных приливов на облачность и через нее на радиационные условия в атмосфере и океане является основным механизмом формирования колебаний температуры воздуха с лунными периодами.

Авторы благодарят заведующую метеорологической обсерваторией МГУ Е. И. Незваль и главных научных сотрудников ВНИИГМИ-МЦД А. И. Неушкина и Б. Г. Шерстюкова за предоставленные многолетние ряды наблюдений количества облачности и продолжительности солнечного сияния.

Литература

1. Авсюк Ю. Н., Суворова И. И. Изменение широт и вынужденные перемещения твердого ядра Земли. //В сб.: Сборник научно-популярных статей — победителей конкурса РФФИ 2007 года. Выпуск 11. — М., Октопус, 2008, с. 221—229.
2. Блехман И. И. Синхронизация в природе и технике. — М., Наука, Физматлит, 1981.
3. Мещерская А. В., Блажевич В. Г. Каталог температурно-влажностных характеристик с учетом площади распространения по экономическим районам основной зернопроизводящей зоны СССР. 1891—1983 годы. — Л., ГГО, 1990.
4. Сидоренков Н. С. Атмосферные процессы и вращение Земли. — СПб, Гидрометеиздат, 2002, 366 с.
5. Сидоренков Н. С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы. — Природа, 2008, № 2, с. 23—31.
6. Сидоренков Н. С. Приливные колебания атмосферной циркуляции. — Труды Гидрометцентра России, 2000, вып. 331, с. 49—63.
7. Сидоренков Н. С., Сумерова К. А. Геодинамика и гидрометеорологические прогнозы. //В сб.: 80 лет Гидрометцентру России. — М., ТРИАДА ЛТД, 2010, с. 254—263.
8. Сидоренков Н. С., Сумерова К. А. Синхронизация вариаций атмосферной циркуляции колебаниями лунно-солнечных приливов и подбор аналогов для долгосрочных прогнозов погоды. — Труды Гидрометцентра России, 2010, вып. 344, с. 238—251.
9. Brückner E. Klimaschwankungen seit 1700. — Geographische Abhandlungen, 1890, Bd. 14, p. 325.
10. Sidorenkov N. S. The Interaction between Earth's Rotation and Geophysical Processes. — Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009, 305 p.