

12,175-СУТОЧНАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ В ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ, АТМОСФЕРНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

© 2018 г. А.А. Станкевич, Д.Ш. Джалилова*, М.Е. Диатропов*

*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
142290, Пушкино Московской области, ул. Институтская, 3*

**Научно-исследовательский институт морфологии человека, 117418, Москва, ул. Цюрупы, 3*

E-mail: diatrom@inbox.ru

Поступила в редакцию 05.05.17 г.

Проведено сопоставление динамики некоторых гелиофизических и атмосферных процессов с установленными ранее у млекопитающих и птиц 12,175- и 4,06-суточными биоритмами изменения митотической активности эпителиальных тканей и с концентрацией глюкокортикоидных гормонов. В смене знака среднего магнитного поля Солнца и в резких снижениях атмосферного давления установлен 12,175-суточный цикл. В смене секторов межпланетного магнитного поля с плюса на минус 4,06-суточный цикл выявляется только в максимуме 11-летнего периода активности Солнца, а в динамике увеличения атмосферного давления и среднесуточной температуры воздуха 4,06-суточный цикл наблюдается независимо от фазы солнечной активности, но только в периоды с января по апрель и с июля по октябрь. Рассмотренные гелиофизические и атмосферные процессы в рамках 12,175- и 4,06-суточного биологического ритма синхронны, однако они не имеют прямой взаимосвязи, на что указывает проявление этих периодичностей только в определенные временные интервалы, тогда как анализируемые биоритмы проявляются в равной степени во все сезоны года и все фазы солнечной активности.

Ключевые слова: атмосферное давление, межпланетное магнитное поле, магнитное поле Солнца, синхронизаторы, инфрадианные биоритмы.

Проблема формирования и синхронизации инфрадианных биоритмов (т.е. биоритмов с периодами от 28 ч до одного месяца) остается открытой до настоящего времени. Анализ литературных данных показывает, что большинство выявленных периодов инфрадианных ритмов концентрируется в диапазонах 3–4, 6–7, 12–14, 21–24 и 28–30 суток [1]. При рассмотрении периодических гелиогеофизических процессов, как возможных синхронизаторов инфрадианных биоритмов, чаще всего анализируют факторы, связанные с 27-суточным ритмом вращения Солнца, а также с 6–7- и 13–14-суточными периодическими изменениями секторной структуры межпланетного магнитного поля [2–4]. В динамике A_p -индекса, характеризующего планетарную геомагнитную активность, также преобладают периоды 3,5, 7,0, 14–15 и 27–30 суток [3]. Таким образом, спектры частот биоритмов и гелиогеофизических процессов совпадают не полностью. Этот факт указывает на возможное существование синхронизаторов инфрадианных биоритмов иной природы и требует более детального рассмотрения.

Важным неэлектромагнитным фактором среды является интенсивность галактических космических лучей, дошедших до атмосферы Земли; у поверхности Земли этот фактор можно оценить по показаниям нейтронного монитора. Показано, что колебания интенсивности галактических космических лучей, в основном модулированные солнечной активностью, влияют на погоду [5]. Связь между частотой счета нейтронов у поверхности Земли и состоянием биологических систем была показана на клеточных культурах, периферической крови, микрофлоре и высших растениях [6,7]. Показания нейтронного монитора имеют как суточную, так и инфрадианные периодичности. Механизм действия на организмы галактических космических лучей не установлен, однако в работе [8] найдена статистически значимая корреляционная связь между изменениями свойств воды и вариациями интенсивности потоков заряженных частиц в околоземном пространстве.

В работе [9] авторы высказывают гипотезу о возможном влиянии солнечной активности на биологические объекты через акустический канал, а именно вариациями интенсивности инфразвука, имеющего в своем спектре периодов

Сокращение: ММП – межпланетное магнитное поле.

как суточную, так и 12,5-, 23–24-, 31–32-суточные ритмичности.

Флуктуации атмосферного давления в области 0,01–0,1 Гц, имеющие около 5- и 12-суточную периодичности, коррелируют с показателями variability сердечного ритма [10]. Искусственное моделирование микрофлуктуаций атмосферного давления также изменяет вегетативный статус и variability сердечного ритма [11].

Уровень радиоактивности атмосферы также колеблется в широком диапазоне периодов. Радиоактивность атмосферы изменяется за счет содержания в ней радиоактивного радона. Выход радона из земли в атмосферу увеличивается при геомагнитной и сейсмической активности. Магнитные бури могут вызывать увеличение его концентрации в несколько раз. В динамике уровня радона в Москве зафиксирована выраженная четырехсуточная ритмичность [12].

Ранее нами было установлено, что структурные и функциональные параметры, отражающие состояние иммунной и эндокринной системы, и динамика пролиферативной активности эпителия у млекопитающих и птиц синхронно ритмически изменяются в инфрадианном диапазоне с периодами 4 и 12 суток [13–16]. При многолетнем хронологическом анализе фаз инфрадианных биоритмов в разные сезоны выявлено смещение акрофазы на сутки вперед каждые 60–72 суток, в связи с чем уточненные периоды этих биоритмов составляют 12,175 и 4,06 суток. На рис. 1 представлено распределение по дням 12,175-суточного цикла всех зарегистрированных значений митотического индекса ($n = 824$ за период 2011–2014 гг.) у самцов крыс Вистар в возрасте трех–четырёх месяцев [16]. Кратность 12,175- и 4,06-суточных инфрадианных биоритмов периоду земного года позволяет прогнозировать их фазы, и каждые четыре года календарные даты батифаз инфрадианного биоритма митотической активности, повторяются (см. таблицу).

Синфазное проявление инфрадианных биоритмов как у большинства исследуемых особей одного вида, так и у разных видов млекопитающих и птиц, сохранение периода и фазы инфрадианных биоритмов в условиях длительной световой депривации и их относительная автономность от циркадианной системы указывают на существование внешнего фактора их синхронизации [13–16].

Методом наложенных эпох ранее нами было показано, что в дни батифаз 12,175-суточного биоритма митотического индекса эпителия пищевода наиболее часто наблюдаются отрицательные (≤ -1 нТл) среднесуточные значения B_Z -компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) [15,16]. Можно предположить, что снижение величины B_Z -компоненты ММП мо-

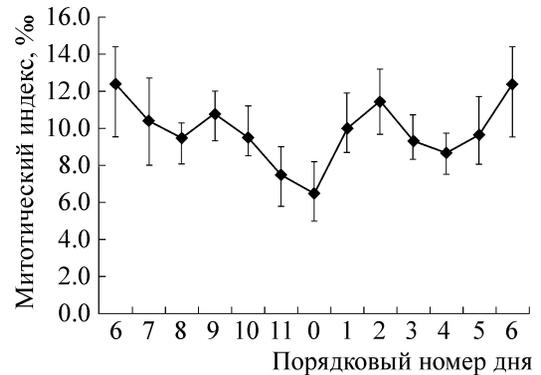


Рис. 1. Распределение по дням 12,175-суточного биоритма всех зарегистрированных значений митотического индекса ($n = 824$ за период 2011–2014 гг.) у самцов крыс Вистар в возрасте 3–4 месяцев. Представлены медианы и 25–75% квартили.

жет являться фактором, который синхронизирует инфрадианные биоритмы митотической активности эпителия. Однако проанализированный в нашей работе интервал времени (2011–2014 гг.) соответствовал высокой активности Солнца, тогда как для подтверждения этой закономерности необходимо анализировать весь 11-летний цикл солнечной активности.

Следовательно, представляется важным соотнести 12,175-суточный и заключенный в нем 4,06-суточный биоритмы с динамикой гелиогеофизических и атмосферных процессов на длительном отрезке времени.

Цель работы состоит в выявлении 12,175- и 4,06-суточной ритмичности в динамике гелиогеофизических и атмосферных процессов в разные фазы солнечной активности и сезоны года, что позволит более определенно охарактеризовать фактор или группу факторов, синхронизирующих инфрадианные биоритмы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выявление 12,175-суточного ритма проводили методом наложенных эпох. Распределение физических показателей среды (ежесуточные изменения атмосферного давления, температуры воздуха, значений B_Z -компоненты ММП, ежесуточные значения A_p -индекса геомагнитной активности и данные о смене знака среднего магнитного поля Солнца и межпланетного магнитного поля) осуществлялось по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов, установленного в работах [15,16]. Ранее была показана внутри- и межвидовая синхронность данного процесса у перепелов и крыс [15]. За нулевой день мы принимали дату батифазы биоритма митотической активности эпителия, указанную в таблице. Дополнительный 13-й день, обра-

Календарные даты батифаз инфрадианного 12-суточного биоритма митотической активности эпителия пищевода у самцов крыс Вистар и японских перепелов (*Coturnix japonica*)

Месяц	Год			
	2011	2012	2013	2014
Январь	1	1	1	1
	13	13	13	13
	25	(25) 26	25	25
Февраль	(6) 7	7	6	6
	19	19	18	18
	3	2	2	(2) 3
Март	15	14	(14) 15	15
	27	(26) 27	27	27
	8	8	8	8
Апрель	(20) 21	20	20	20
	3	2	2	(2) 3
	15	14	14	15
Май	27	26	(26) 27	27
	8	(7) 8	8	8
	20	20	20	20
Июнь	(2) 3	2	2	2
	15	14	14	(14) 15
	27	26	(26) 27	27
Июль	8	7	8	8
	20	(19) 20	20	20
	(1) 2	1	1	1
Август	14	13	13	13
	26	25	25	(25) 26
	8	7	(7) 8	8
Сентябрь	20	19	20	20
	(31) 1	(31) 1		
	1	1	1	1
Октябрь	(13) 14	13	13	13
	26	25	25	(25) 26
	8	7	7	8
Ноябрь	20	19	(19) 20	20
	(31) 1	(31) 1		
	8	7	7	8
Декабрь	20	19	(19) 20	20
	(31) 1	(31) 1		
	8	7	7	8

Примечание. В скобках приводится дополнительный 13-й день, образующийся через каждые 60–72 суток в результате накапливающейся временной разницы между 12-суточным и 12,175-суточным периодами.

зующийся каждые 60–72 суток из-за отсутствия кратности исследуемого периода суткам, не принимался во внимание. Исключение значений физических параметров, соответствующих календарным датам, указанным в таблице в скобках, может привести к потере некоторой информации, однако позволяет не вводить поправку на число событий в каждый анализируемый день 12,175-суточного цикла, что облегчает возможность делать выводы о статистической значимости различий.

Данные о смене знака среднего магнитного поля Солнца, определяемого как суммарный магнитный поток с диска Солнца, анализировали за период 1975–2016 гг., а данные о смене границ секторов ММП – за 1926–2016 гг. Эти

данные представлены на сайте Wilcox Solar Observatory по адресу: <http://wso.stanford.edu/>.

Ежесуточные данные об атмосферном давлении и о среднесуточной температуре воздуха за 1950–2016 гг. в Москве (в районе ВДНХ) взяты из базы GSOD – Базы данных Всемирной метеорологической организации (www.wmo.int).

Значения B_Z -компоненты ММП и A_p -индекса геомагнитной активности взяты с сайтов <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html> и <ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/home/obs/kp-ap/wdc/> соответственно.

Статистическую значимость различий числа случаев в определенный день периода по сравнению со средним уровнем, или между значе-

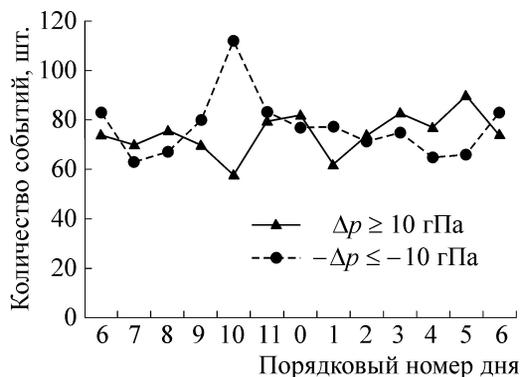


Рис. 2. Распределение количества событий резких ежесуточных повышений ($\Delta p \geq 10$ гПа) и снижений ($\Delta p \leq -10$ гПа) атмосферного давления по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов за период с 1950 по 2014 гг.

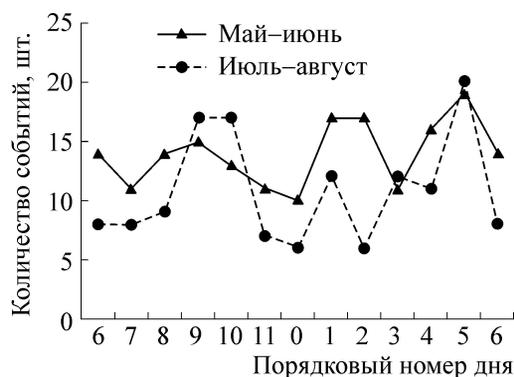


Рис. 3. Распределение количества событий резких ежесуточных снижений атмосферного давления в мае-июне ($\Delta p \leq -7$ гПа) и в июле-августе ($\Delta p \leq -6$ гПа) по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов за период с 1965 по 2014 гг.

ниями в акрофазе и батифазе оценивали по непараметрическим критериям Хи-квадрат и z -тест (SigmaStat) при $p < 0,05$. Для выявления сходства кривых распределений событий по дням 12,175-суточного периода для разных временных интервалов вычисляли ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ ежесуточных вариаций исследуемых физических параметров проводили исходя из того, что для живых организмов более значимым может оказаться изменение параметра окружающей среды, чем его абсолютное значение.

Было построено распределение количества резких изменений атмосферного давления ($\Delta p \geq 10$ гПа) относительно дней 12,175-суточного цикла митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов. В динамике приростов атмосферного давления ($\Delta p \geq 10$ гПа) наблюдается 4,06-суточный ритм с максимумами около 0-го, 4-го и 8-го дня 12,175-суточного цикла. Иная картина наблюдается в распределении ежесуточных снижений атмосферного давления ($\Delta p \leq -10$ гПа): в 10-й день 12,175-суточного цикла число таких событий составляет 112, тогда как средний уровень – 76 событий при общем числе событий 919. Методом Хи-квадрат проведена оценка статистической значимости различия между показателем на 10-й день 12,175-суточного цикла и средним уровнем, которая составила $p = 0,015$, а по z -тесту $p = 0,043$. В дальнейшем для оценки статистической значимости применяли только z -тест, как более точный критерий. Таким образом, в динамике резких ежесуточных снижений атмосферного давления установлен статистически значимый 12,175-суточный период. Иными словами, на

10-й день число случаев снижения атмосферного давления вдвое больше, чем его повышения, тогда как в остальные дни эти события примерно равновероятны (рис. 2).

Нужно отметить, что резкие изменения атмосферного давления ($\Delta p \geq 10$ гПа) наиболее часто происходят в период с октября по апрель с максимумом в январе, а в летний сезон такие ежесуточные изменения атмосферного давления крайне редки, и поэтому для периода май-июнь порог при анализе был снижен до 7 гПа, а для июля-августа даже до 6 гПа. В период май-август в распределении количества выраженных снижений атмосферного давления наблюдается 4,06-суточный цикл (рис. 3). Так, максимальное число случаев резкого снижения атмосферного давления зарегистрировано на 1-й, 5-й и 9-й день 12,175-суточного цикла. Суммарно в 3-й, 7-й и 11-й день 12,175-суточного цикла (батифаза цикла) наблюдалось 60 событий резкого снижения атмосферного давления, тогда как на 1-й, 5-й и 9-й день (акрофаза цикла) – 101 событие. Рассчитана статистическая значимость различия вероятностей наступления резкого снижения атмосферного давления в акрофазу и батифазу 4,06-суточного ритма ($p = 0,019$).

Мы провели анализ дат прихода фронта повышенного атмосферного давления относительно фазы 12,175-суточного цикла. Исходя из сезонной выраженности колебаний атмосферного давления, датой прихода антициклона для зимнего периода считали день первого ежесуточного прироста атмосферного давления при $\Delta p \geq 4,0$ гПа, для весеннего и осеннего сезона – при $\Delta p \geq 3,5$ гПа, а для летнего – при $\Delta p \geq 3,0$ гПа. График распределения числа случаев прихода антициклона по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пи-

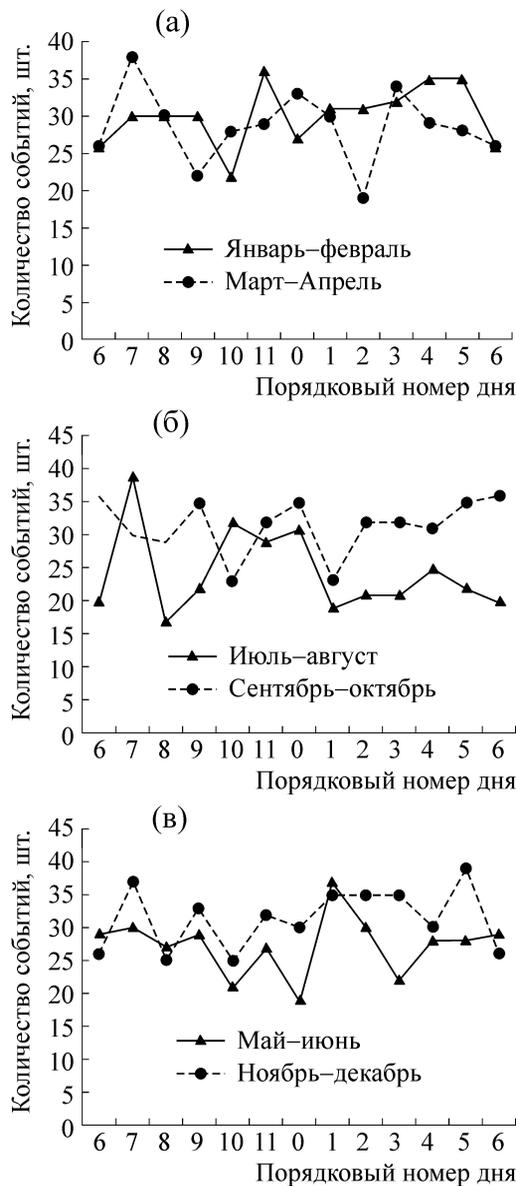


Рис. 4. Распределение количества событий прихода антициклона по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов в период с 1975 по 2014 гг.: (а) – в январе–феврале и марте–апреле, (б) – июле–августе и сентябре–октябре, (в) – в мае–июне и ноябре–декабре.

шевода крыс и перепелов за период с 1975 по 2014 гг. был сходен для интервалов март–апрель, январь–февраль, июль–август и сентябрь–октябрь (рис. 4а,б), тогда как в мае–июне максимум прихода антициклонов смещен на двое суток (с 11-го–0-го дня на 1-й–2-й), а в ноябре–декабре не было 12,175- или 4,06-суточной ритмичности (рис. 4в).

Нужно отметить, что максимумы кривых распределений дат прихода фронтов повышенного атмосферного давления за периоды 1975–

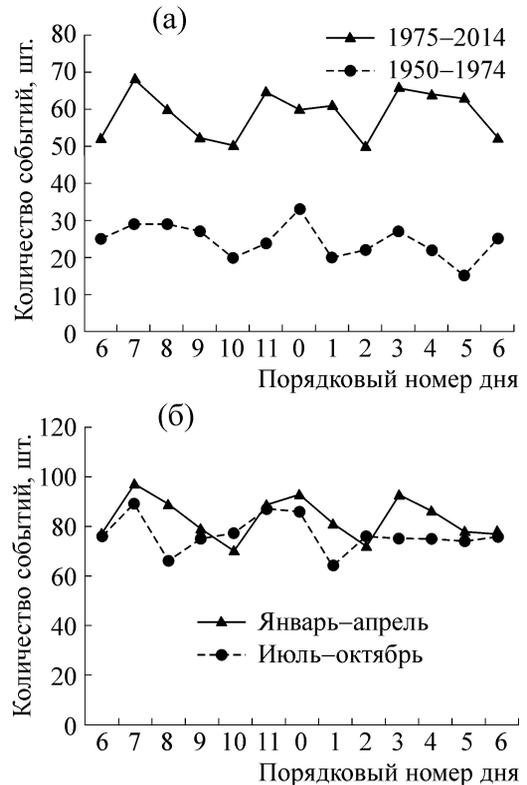


Рис. 5. Распределение количества событий прихода антициклона по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов: (а) – в январе–апреле 1975–2014 гг. и в январе–апреле 1950–1974 гг., (б) – в январе–апреле и июле–октябре 1950–2014 гг.

2014 гг. и 1950–1974 гг. наблюдаются в одни и те же дни 12,175-суточного цикла (рис. 5а), что указывает на то, что фаза 12,175-суточного цикла не изменяется на протяжении 65 лет, следовательно, исследуемый цикл определен с точностью до третьего знака и действительно кратен году. На основании сходства сезонных распределений мы объединили смежные интервалы и представили на рис. 5б распределение количества ежесуточных повышений атмосферного давления по дням 12,175-суточного цикла митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов в интервалах январь–апрель и июль–октябрь 1950–2014 гг. Максимальное число повышений атмосферного давления приходится на 11–0-й, 3-й и 7-й дни 12,175-суточного цикла, т.е. выявляется 4,06-суточная ритмичность возникновения этих событий. В январе–апреле в сумме на 0-й, 4-й и 8-й дни приходится 263 события, на 1-й, 5-й, 9-й день – 238, на 2-й, 6-й, 10-й день – 219 и на 3-й, 7-й, 11-й день – 274 события. Между значениями в максимуме (сумма за 3-й, 7-й, 11-й день) и минимуме (сумма за 1-й, 5-й, 9-й день) установлено статистически значимое различие ($p = 0,001$). В июле–октябре в сумме на 0-й, 4-й и

8-й дни приходится 227 события, на 1-й, 5-й, 9-й день – 213, на 2-й, 6-й, 10-й день – 229 и на 3-й, 7-й, 11-й день – 251 событие. Для временного интервала июль–октябрь также выявлена статистически значимая разница в вероятности прихода фронта повышенного атмосферного давления ($p = 0,043$). Таким образом, в периоды с января по апрель и с июля по октябрь в динамике прихода фронтов повышенного атмосферного давления наблюдается синфазный 4,06-суточный ритм.

Ранее мы выявили 4,06-суточный цикл в динамике уровня кортикостерона и тестостерона в сыворотке крови млекопитающих и птиц [13,14]. Максимальная концентрация этих гормонов была зарегистрирована в 0-й 4-й и 8-й день 12,175-суточного цикла, а максимальный ежесуточный прирост концентрации – на 3-й, 7-й и 11-й сутки. Таким образом, наблюдается полное соответствие фаз 4,06-суточных ритмов прироста атмосферного давления и концентрации кортикостерона и тестостерона у млекопитающих и птиц. Однако следует отметить, что 4,06-суточный цикл в динамике уровня этих гормонов наблюдался в равной степени во все временные периоды разных сезонов года, а в динамике прихода фронтов повышенного атмосферного давления он регистрируется значительно реже, более того, в период май–июнь и ноябрь–декабрь имеет другую фазу или отсутствует.

Динамика температуры воздуха во многом определяется изменением атмосферного давления, вызванного сменой циклонов и антициклонов. Повышение давления зимой сопряжено с похолоданием, а весной с потеплением, что наблюдается и в рамках нашего анализа. Анализ динамики изменения среднесуточной температуры воздуха по дням 12,175-суточного ритма выявил существование 4,06-суточного ритма в ее снижении ($\Delta t \leq -5,5^\circ\text{C}$) в зимний период и повышении ($\Delta t \geq 3,0^\circ\text{C}$) в весенний сезон. Важно отметить, что акрофаза ритма в ноябре–декабре наступает на сутки раньше, чем в январе–феврале (рис. 6). В период января–февраля наибольшее число случаев резкого похолодания приходится на 0-й день 12,175-суточного цикла (31 событие при среднем уровне в 22 события на каждый день 12,175-суточного цикла). Вероятно, это связано с отмеченным выше снижением атмосферного давления, происходящим на 10-й день 12,175-суточного цикла. В рамках 4,06-суточного цикла для интервала январь–февраль в сумме на 0-й, 4-й и 8-й дни 12,175-суточного цикла приходится 79 случаев резкого похолодания, тогда как на противофазные 2-й, 6-й и 10-й день – всего 55 при общем количестве случаев 264. Для этого сезона в вероятности наступления значимых похолоданий в максимуме (0-й, 4-й, 8-й день) и ми-

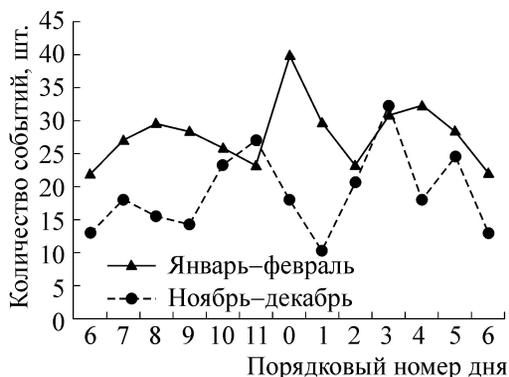


Рис. 6. Распределение количества событий снижения среднесуточной температуры воздуха ($\Delta t \leq -5,5^\circ\text{C}$) по дням 12,175-суточного цикла митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов в период январь–февраля и ноября–декабря 1950–2016 гг.

нимуме (2-й, 6-й, 10-й день) установлена статистически значимая разница ($p = 0,023$). В значениях частоты случаев наступления резких похолоданий для периода ноябрь–декабрь в акрофазе (сумма за 3-й, 7-й, 11-й день) и батифазе (сумма за 1-й, 5-й, 9-й день) 4,06-суточного ритма также выявлена статистически значимая разница ($p = 0,014$).

Исходя из того, что земной год кратен 12,175-суточному периоду, более вероятно, что такой ритм характерен для процессов на Земле. Однако учитывая, что на погоду влияют гелиофизические факторы [5], мы провели анализ некоторых из них.

Анализ смены знака (направленности) среднего магнитного поля Солнца, определяемого как среднее значение магнитного потока с диска Солнца, методом распределения количества событий по дням 12,175-суточного цикла митотической активности эпителия крыс и перепелов показал наличие исследуемого ритма и в этом процессе (рис. 7). В сумме на зону 11-го и 0-го дня приходится 385 события смены знака при среднем уровне 322 события на каждые два дня 12,175-суточного цикла. Установлено статистически значимое различие в вероятности возникновения смены знака среднего магнитного поля Солнца в области 11-го и 0-го дня 12,175-суточного цикла, по сравнению с остальными ($p = 0,033$). Нужно отметить, что выраженность 12,175-суточного цикла в смене знака среднего магнитного поля Солнца с плюса на минус больше, чем с минуса на плюс.

Частота смены секторов ММП с плюса на минус во всех трех исследуемых временных интервалах 1926–1946, 1947–1974 и 1975–2016 гг. имеет максимальные значения в одни и те же дни 12,175-суточного ритма. Сходство кривых распределения (рис. 8) наиболее выра-

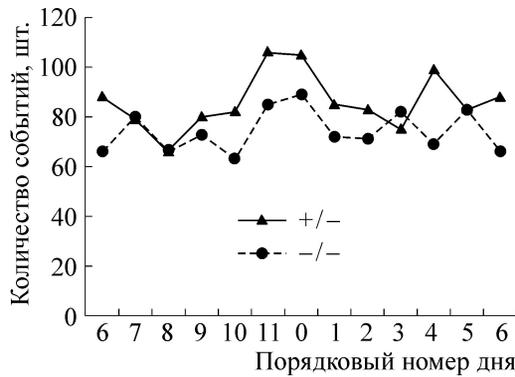


Рис. 7. Распределение количества событий смены знака среднего магнитного поля Солнца с плюса на минус и с минуса на плюс по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов по данным за 1975–2016 гг.

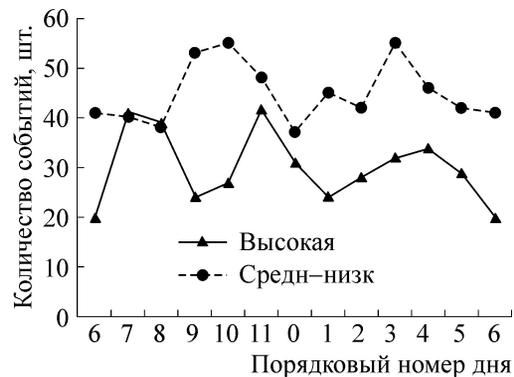


Рис. 9. Распределение количества событий смены знака межпланетного магнитного поля с плюса на минус по дням 12,175-суточного цикла митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов в годы, близкие к максимуму активности Солнца, и остальной период 11-летнего цикла солнечной активности за период 1947–2016 гг.

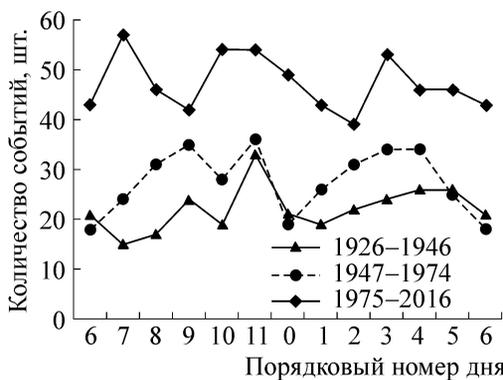


Рис. 8. Распределение количества событий смены знака межпланетного магнитного поля с плюса на минус по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов по данным за 1926–1946, 1947–1974 и 1975–2016 гг.

жено между 1926–1946 и 1947–1974 гг. ($r = 0,54$, $p = 0,05$). Таким образом, за исследуемый период в динамике прохождения границ ММП наблюдается 12,175-суточная ритмическая составляющая, и ее фаза не изменилась за 90 лет.

Разделение массива данных по смене знака ММП за 1947–2016 гг. на годы в области высокой солнечной активности и остальной период, позволило установить, что 4,06-суточный ритм в динамике прохождения границы плюс/минус выявляется только в период высокой активности Солнца (рис. 9). Максимумы числа событий приходятся на 3–4-й, 7–8-й и 11-й день 12,175-суточного ритма. В рамках 4,06-суточного ритма выявлено статистически значимое различие между значениями в максимуме (3-й, 7-й и 11-й день, в сумме 115 событий) и минимуме (1-й, 5-й и 9-й день, в сумме 77 событий) при 371 зарегистрированном событии

($p = 0,002$). В остальной период 11-летнего цикла солнечной активности выявлен 6,08-суточный ритм ($p = 0,018$) с акрофазой в 3-й и 9-й день и батифазой в 0-й и 6-й день 12,175-суточного ритма, – соответственно 108 и 78 события при общем количестве событий 542. Следует отметить, что в распределении частоты смены секторов ММП с минуса на плюс в рамках 12,175-суточного периода статистически значимых различий не выявлено.

В динамике среднесуточных значений – компоненты ММП за 1979–2015 гг. 12,175-суточный ритм был достоверно установлен только для периода высокой активности Солнца. Так, суммарно за период 1979–1982, 1991–1992, 1999–2002 и 2010–2013 гг. количество событий со среднесуточным значением B_z -компоненты ММП менее -1 нТл в 0-й день 12,175-суточного цикла составило 108, при среднем уровне числа событий на каждый день 12,175-суточного цикла, равном 72 ($p = 0,003$). В периоды низкой солнечной активности 12,175-суточной ритмичности этого параметра не выявлено.

Распределение числа случаев начала геомагнитных бурь, соответствующих повышению A_p -индекса геомагнитной активности выше 20 по дням анализируемого 12,175-суточного цикла представлено на рис. 10. Полное соответствие гистограмм распределения количества событий начал геомагнитных бурь за произвольно выбранные временные интервалы 1933–1974 и 1975–2015 гг. ($r = 0,75$, $p = 0,003$) указывает на существование 12,175-суточной закономерности возникновения этих событий.

ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках полученных результатов можно было бы связать 4,06-суточный биоритм с из-

менением атмосферного давления и сменой знака ММП с плюса на минус. Однако такая связь для атмосферного давления прослеживается только в январе–апреле и июле–октябре, а для смены секторов ММП – только в годы высокой активности Солнца.

Анализируя фазовую взаимосвязь 4,06-суточного цикла изменения атмосферного давления и смены знака ММП с плюса на минус в рамках 12,175-суточного цикла, можно было бы предположить, что в период высокой солнечной активности смена знака ММП приводит к повышению атмосферного давления. Анализ распределения количества событий прироста атмосферного давления в годы, близкие к максимуму активности Солнца и в остальной период, показали отсутствие связи 4,06-суточного цикла динамики атмосферного давления с фазой солнечного цикла. Таким образом, в динамике атмосферного давления 4,06-суточный цикл наблюдается независимо от фазы 11-летнего цикла активности Солнца, а в смене знака ММП с плюса на минус – только в период максимума солнечной активности.

Ранее нами была показана связь среднесуточных значений V_Z -компоненты ММП с 12,175-суточным циклом митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов [15, 16]. Однако эти исследования были проведены в годы максимальной активности Солнца. Как показал анализ динамики V_Z -компоненты ММП, отрицательные значения преобладают в области 11-го и 0-го дня 12,175-суточного ритма только в период максимальной солнечной активности. В остальном периоде 11-летнего цикла активности Солнца указанная зависимость отсутствует. Необходимо отметить, что 12,175-суточный биоритм митотической активности эпителия регистрируется постоянно, на всем протяжении цикла солнечной активности. Таким образом, проведенное только в период максимума активности Солнца исследование привело к недостаточно обоснованному выводу о связи 12,175-суточного биоритма митотического индекса с отрицательными среднесуточными значениями V_Z -компоненты ММП [15, 16].

Важно отметить, что в распределении частоты смены границ секторов ММП с минуса на плюс в рамках 12,175-суточного цикла не было выявлено статистически значимых различий, тогда как в смене знака ММП с плюса на минус они достоверны. Также не выявлено 12,175-суточной ритмичности в положительных ежесуточных значениях V_Z -компоненты ММП. Возможно, этот факт поможет установить причину 12,175-суточной ритмичности в динамике гелиофизических процессов.

Итак, нами показано, что фаза 12,175-суточного и связанного с ним 4,06-суточного циклов не изменилась для динамики атмосферного

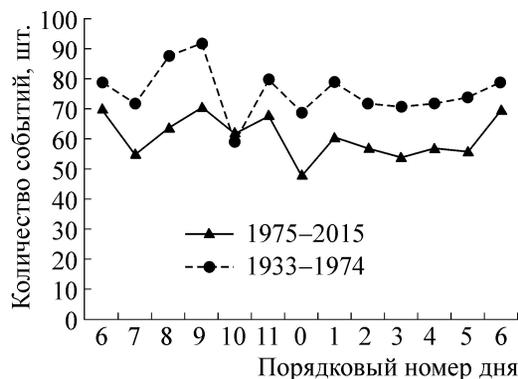


Рис. 10. Распределение количества событий начала геомагнитных бурь, соответствующих повышению A_p -индекса геомагнитной активности выше значения 20 по дням 12,175-суточного ритма митотической активности эпителия пищевода крыс и перепелов за 1975–2015 и 1933–1974 гг.

давления и температуры воздуха с 1950 г., для смены знака среднего магнитного поля Солнца – с 1975 г., смены секторов ММП – с 1926 г., A_p -индекса – с 1933 г. Таким образом, 12,175-суточный биоритм, выявленный на относительно небольшом временном отрезке 2008–2016 гг., определен с большой точностью и действительно земной год ему кратен. Важно отметить, что этот ритм установлен не только в околоземных и атмосферных параметрах, но и в смене знака среднего магнитного поля Солнца, не имеющей очевидной теоретической связи с обращением Земли вокруг Солнца.

Выявленное соответствие периодов биологических ритмов с динамикой в основном магнитных факторов и атмосферных процессов, также сопровождающихся изменением электромагнитных параметров окружающей среды, указывает на наиболее вероятный электромагнитный фактор синхронизации инфраниантных биоритмов, описанный в ряде работ [17–21] и действующий в определенном диапазоне частот. Однако нельзя отвергать и участие периодических гравитационных колебаний в синхронизации инфраниантных биоритмов [22].

В ходе нашего исследования установлено только два фактора, имеющих 12,175-суточную ритмичность независимо от фазы активности Солнца и сезона года: смена знака среднего магнитного поля Солнца и резкие снижения атмосферного давления. Однако эти события наблюдаются довольно редко, и их динамика целиком не определяется 12,175-суточной ритмичностью, что ставит под сомнение определяющее участие этих факторов в синхронизации инфраниантных биоритмов.

В динамике смены знака среднего магнитного поля Солнца и ММП, изменения атмосферного давления и биологических процессах

выявленные 12,175- и 4,06-суточные ритмы синфазны. Однако рассмотренные гелиофизические, атмосферные и биологические процессы в рамках 12,175- и 4,06-суточного ритма не имеют прямой взаимосвязи, на что указывает проявление этих периодичностей в динамике большинства физических факторов только в определенных временные интервалы, а биологических процессов – постоянно. Можно предположить, что существует другой неучтенный фактор или их система, имеющая 12,175- и 4,06-суточную периодичность и влияющая на смену знака среднего магнитного поля Солнца и ММП, атмосферные процессы и биологические системы.

Периодическое повторение вариаций погодных условий на протяжении длительного времени могло привести к формированию системы инфрадианных биоритмов с данными периодами. Как циркадианная система биоритмов должна периодически синхронизироваться сменой дня и ночи, эта система тоже нуждается во внешнем синхронизаторе [23]. Можно предположить, что организмы реагируют на этот пока неустановленный фактор, во многом определяющий динамику погоды, тем самым предсказывая благоприятные и неблагоприятные ее изменения.

Таким образом, ответ на вопрос, какой физический фактор определяет изменения погоды в 12,175- и 4,06-суточном цикле, может раскрыть природу синхронизатора биологических ритмов в инфрадианном диапазоне периодов, что в свою очередь позволит управлять их фазой с целью коррекции ряда патологических состояний, в том числе, возможно, и снижать митотическую активность опухолевых клеток.

Хочется отметить, что установленная система инфрадианных биоритмов может лежать в основе отсчета живыми организмами временных интервалов. Так, нами было показано, что длина репродуктивного периода (временной интервал с момента достижения готовности к размножению до начала линьки) у самцов обыкновенной зеленушки (*Chloris chloris*) в зависимости от уровня стрессуемости и силы особи составляла 36–39, 48–51, 60–64 и 72–73 суток [24]. Таким образом, в индивидуальной продолжительности репродуктивного периода у этих птиц четко прослеживается кратность 12-ти суткам. Та же закономерность нами была установлена и для самок больших синиц *Parus major*, репродуктивный период у которых в зависимости от внешних и внутренних условий составлял либо 48–49 суток, либо 60–61 суток, либо 73–74 суток, либо 84–86 суток, что кратно 12-ти суткам [25]. Нужно заметить, что в этом ряду между 60–61-ми и 73–74-ми сутками наблюдается интервал в 13, а не 12 суток, что обусловлено накапливающейся за два месяца

временной разницей между 12- и 12,175-суточными периодами. Данный факт указывает на то, что отсчет продолжительности репродуктивного периода в организме птиц осуществляется 12,175-суточными временными интервалами.

ВЫВОДЫ

Таким образом, 12,175-суточный ритм выявлен:

1) в динамике резких снижений атмосферного давления, проявляющийся в период с сентября по май;

2) в смене знака среднего магнитного поля Солнца независимо от фазы 11-летнего цикла активности Солнца и сезона года;

3) в отрицательных среднесуточных значениях B_z -компоненты ММП, но только в годы высокой активности Солнца;

4,06-суточный ритм в рамках 12,175-суточного цикла установлен:

1) в динамике резких снижений атмосферного давления, проявляющийся в период с мая по август;

2) в смене знака ММП с плюса на минус, но только в годы высокой активности Солнца;

3) в динамике повышения атмосферного давления наблюдается в той же фазе, что и смена секторов ММП с плюса на минус, но при этом выявляется при любом уровне солнечной активности, однако только в период с января по апрель и с июля по октябрь.

Суммируя полученные результаты, можно заключить, что 12,175- и 4,06-суточные периоды достоверно выявляются в гелиофизических процессах в зависимости от фазы 11-летнего цикла активности Солнца, а в атмосферных явлениях независимо от фазы солнечной активности, но только в определенные сезоны года, тогда как в биологических процессах 12,175- и 4,06-суточные ритмы проявляются примерно с одинаковой выраженностью во все сезоны и фазы солнечной активности. Рассмотренные гелиофизические, атмосферные и биологические процессы в рамках 12,175- и 4,06-суточного ритма синхронизированы между собой. Однако они не имеют прямой взаимосвязи, на что указывает проявление этих периодичностей исследованных физических факторов только в определенные временные интервалы. Только два из проанализированных процессов имеют 12,175-суточную ритмичность независимо от фазы активности Солнца и сезона года: смена знака среднего магнитного поля Солнца и выраженные снижения атмосферного давления. Однако они наблюдаются довольно редко и целиком не определяются 12,175-суточной ритмичностью, чтобы с уверенностью говорить о них

как об искомым факторах синхронизации инфрадианных биоритмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. Н. Шабатура, Успехи физиол. наук **20** (3), 86 (1989).
2. Т. К. Бреус, Ф. Халберг и С. Ж. Корнелиссен, Биофизика **40** (4), 737 (1995).
3. Б. М. Владимирский, В. Я. Нарманский и Н. А. Темуриянц, Биофизика **40** (4), 749 (1995).
4. В. С. Мартынюк и Н. А. Темуриянц, Геофизические процессы и биосфера **8** (1), 36 (2009).
5. Г. Ф. Крымский, в сб. *Солнечно-земная физика* (ИСЗФ СО РАН, Иркутск, 2002), вып. 2, с. 115.
6. Н. К. Белишева, Б. М. Кужевский, Э. В. Вашенюк и др., Докл. РАН **402** (6), 831 (2005).
7. Н. К. Белишева, Б. М. Кужевский, Е. А. Сигаева и др., Докл. РАН **407** (5), 687 (2006).
8. М. Б. Винниченко, Н.К. Белишева и В. К. Жиров, Докл. РАН **429** (6), 816 (2009).
9. А. А. Негода и С. А. Сорока, Космическая наука и технология **7** (5–6), 85 (2001).
10. A. Delyukov, Y. Gorgo, G. Cornelissen, et al., Biomed. Pharmacother. **55** (Suppl. 1), 84 (2001).
11. Ю. П. Горго и Л. А. Дидык, В кн. *Биотропное воздействие космической погоды* (ВВМ, Москва, Киев, СПб., 2010).
12. О. И. Аптикаева, К. А. Костенко, Е. И. Селюков и др., В кн. *Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов*. (Янус-К, М., 2013).
13. М. Е. Диатроптов, Бюл. эксперим. биологии и медицины **152** (11), 564 (2011).
14. М. Е. Диатроптов, Цитология **55** (5), 333 (2013).
15. М. Е. Диатроптов, О. В. Макарова и М. А. Диатроптова, Геофизические процессы и биосфера **13** (4), 82 (2014).
16. М. Е. Диатроптов и О. В. Макарова, Бюл. эксперим. биологии и медицины **158** (9), 370 (2014).
17. Б. М. Владимирский, В. Я. Нарманский и Н. А. Темуриянц, *Космические ритмы* (Симферополь, 1994).
18. Н. А. Темуриянц, Е. Н. Чуян, А. С. Костюк и др., *Эффекты слабых электромагнитных факторов у беспозвоночных животных* (ДИАЙПИ, Симферополь, 2012).
19. С. И. Рапопорт, Н. Д. Большакова, Н. К. Малиновская и др., Биофизика **43** (4), 632 (1998).
20. С. И. Рапопорт и Т. К. Бреус, Клин. медицина, № 3, 9 (2011).
21. Т. А. Зенченко, А. А. Медведева, Н. Н. Потолицына и др., Биофизика **60** (2), 385 (2015).
22. П. В. Василик и А. Г. Василега, Геофизич. процессы и биосфера **3** (1), 58 (2004).
23. М. В. Рагульская и С. М. Чибисов, Владикавказский медико-биол. вестн. **12** (9), 141 (2011).
24. М. Е. Диатроптов, Рус. орнитол. журн. **25** (1345), 3699 (2016).
25. М. Е. Диатроптов, Рус. орнитол. журн. **25** (1416), 967 (2017).

The 12.175-day Periodicity in Heliophysical, Atmospheric and Biological Processes

A.A. Stankevich*, **D.Sh. Dzhaililova****, and **M.E. Diatroptov****

**Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

***Research Institute of Human Morphology, ul. Tsyurupy 3, Moscow, 117418 Russia*

Comparison between the dynamics of some heliophysical and atmospheric processes with the 12.175- and 4.06-day biorhythms recognized earlier in mammals and birds: variations in mitotic activity of epithelial tissues, and concentration of glucocorticoid hormones has been undertaken. A 12.175-day period has been detected during sign change in the magnetic field at an average place on the Sun and a sharp drop in atmospheric pressure. A 4.06 day period has been discerned only during solar maximum, a period of greatest Sun activity during the 11-year solar cycle, when interplanetary magnetic field sectors change from plus to minus sign, and also when atmospheric pressure and averaged daily air temperature increase not depending on the phase of solar activity, but only from January to April and from July to October. The explored heliophysical and atmospheric processes are synchronous within the 12.175- and 4.06-day biorhythms. However, they do not have a direct relationship, since these periodicities occur only at a certain time intervals, whereas the analyzed biorhythms are manifested equally during all seasons of the year and all phases of solar cycle.

Keywords: atmospheric pressure, interplanetary magnetic field, solar magnetic field, synchronizers, infradian biorhythms