

УДК 502.313

## СВЯЗЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РИТМОВ С АРТЕРИАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ И ЧАСТОТОЙ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНОГО СЛУЧАЯ

© 2024 г. П.Д. Ковалев, Д.П. Ковалев

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки, 1Б, Южно-Сахалинск, 693022, Россия*

*E-mail: p.kovalev@imgg.ru*

Поступила в редакцию 26.05.2023 г.

После доработки 27.06.2023 г.

Принята к публикации 19.07.2023 г.

Рассмотрены результаты анализа пятилетних временных рядов наблюдений за геофизическими (экологическими) ритмами – атмосферного давления и геомагнитной активности и оценено их влияние на артериальное давление и частоту сердечных сокращений человека для временных периодов колебаний более суточных. Обнаружено, что в периоды времени продолжительностью около 15 суток, когда атмосферное давление изменяется плавно и незначительно, наблюдается более спокойный сердечный ритм и колебания артериального давления. Такие «спокойные» периоды времени наблюдаются преимущественно в летние месяцы с июля по август, обычно только один раз за сезон. Сравнение графиков колебаний систолического давления и индекса геомагнитной активности показали наличие корреляции между ними в три раза превышающую значение корреляции между систолическим давлением и атмосферным давлением. Это означает, что геомагнитное поле с индексом активности более 2 в большей степени влияет на повышение систолического давления у человека. Проведенный анализ также показал, что периоды пиков в спектрах атмосферного давления хорошо согласуются с периодами ритмов частоты сердечных сокращений. Результат указывает на то, что на эти ритмы у людей могут оказывать влияние проходящие через регион синоптические процессы в атмосфере типа циклонов и антициклонов и, в конечном итоге, от них может зависеть самочувствие пожилых и больных людей. Данное исследование с учетом публикуемой гидрометеорологическими службами вариабельности геофизических параметров позволяет прогнозировать состояние здоровья человека.

*Ключевые слова: геофизические и биологические ритмы, артериальное давление, ЧСС, атмосферное давление, геомагнитная активность.*

DOI: 10.31857/S0006302924020215, EDN: OTFSCV

В настоящее время складывается комплексный, многосторонний подход к изучению организма человека и взаимодействию его биологических ритмов с геофизическими (экологическими) ритмами окружающей среды. При этом, с одной стороны, это традиционные исследования биологических ритмов, таких как вариабельность сердечного ритма [1, 2], систолического и диастолического артериального давления [3–5], которые, как хорошо известно, являются методами оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [6]. Ре-

зультатам изучения вариабельности посвящено большое количество публикаций, в том числе и с применением методов спектрального и спектрально-временного анализа [2, 7, 8]. При этом использование спектрального анализа позволяет исследовать взаимосвязь биологических и геофизических ритмов, например, изменений артериального давления и геомагнитной активности, а также вариабельность этих процессов с течением времени.

С другой стороны, такой подход заключается в изучении взаимодействия человека с окружающей средой и связан с исследованиями влияния окружающей среды и ее ритмов на состояние здоровья человека или возникновение нарушений его адаптивных механизмов. При этом необходим анализ разномасштабных по времени воздействий на организм. Отметим, что в настоящее

*Сокращение: ЧСС – частота сердечных сокращений.*

время для наблюдений в основном используется суточный мониторинг параметров организма человека и изучаются ритмы с периодами до единиц минут или до десятков минут [9]. Такие исследования не позволяют проследить связь биоритмов человека с изменением параметров окружающей среды – геофизическими ритмами, поскольку последние имеют более медленные периоды повторений.

В настоящей работе рассматриваются связи между геофизическими (экологическими) и биологическими ритмами человека, которые являются периодическим повторением некоторого процесса в биологической системе через более или менее регулярные промежутки времени. При этом биоритм – это не просто повторяющийся, а и самоподдерживающийся и самовоспроизводящийся процесс. Биологические ритмы характеризуются периодом, частотой, фазой и амплитудой колебаний [10].

Отметим также, что в работе рассматривается связь геофизических ритмов окружающей среды с периодами колебаний процессов с биоритмами человека с периодами более 24 ч, которые, в соответствии с часто используемой классификацией биоритмов [11], относятся к инфрадианным ритмам, т. е. к процессам с периодами более 28 ч.

Биологические ритмы, совпадающие по кратности с геофизическими ритмами, называются адаптивными. К ним относят суточные, приливные, лунные и сезонные ритмы. В биологии адаптивные ритмы рассматриваются с позиций общей адаптации организмов к среде обитания, а в физиологии – с точки зрения выявления внутренних механизмов такой адаптации и изучения динамики функционального состояния организмов на протяжении длительного периода времени [12].

Хорошо известно, что основными параметрами окружающей среды, оказывающими влияние на биологические ритмы человеческого организма, являются колебания атмосферного давления и геомагнитного поля. При этом в метеорологии обычно используется понятие геомагнитной активности, под которым понимают возмущения геомагнитного поля, вызванные изменением электрических токов в магнитосфере и ионосфере Земли. Основная причина таких изменений – поток возмущенного солнечного ветра, который взаимодействует с магнитным полем Земли и приносит дополнительную энергию к существующей токовой системе [13]. Изменения температуры наружного воздуха обычно происходят не ритмично, за исключением суточных и сезонных колебаний, но авторы включили в анализ этот параметр с целью установления возможного влияния на медленные биологические ритмы.

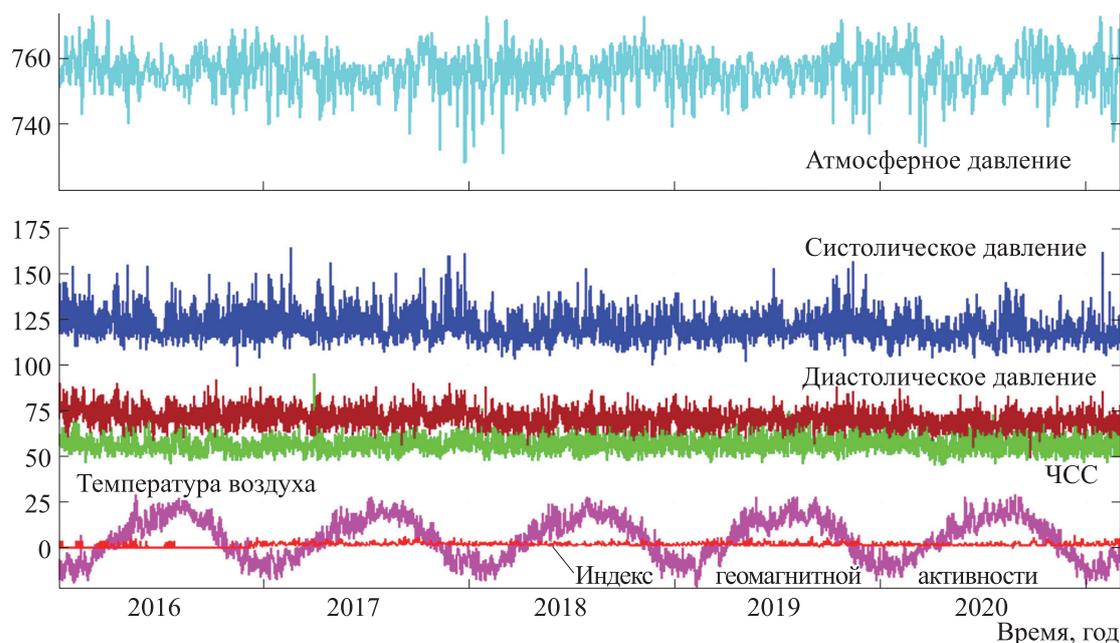
Отметим также, что для оценки взаимосвязи между периодами (ритмами) изменения артериального давления, сердечного ритма и параметрами окружающей среды, оказывающими воздействие на биологические ритмы, авторы пользуются хорошо известным в математике и физике спектральным анализом [14, 15]. Однако воспользоваться функцией когерентности для установления связи между биологическими и геофизическими ритмами не представляется возможным из-за того, что значения когерентности оказались меньше доверительного уровня.

Учитывая вышеизложенное, авторы провели длительный, пятилетний мониторинг вариабельности сердечного ритма и артериального давления синхронно с изменением атмосферного давления и температуры, геомагнитной активностью. Очевидно, что для большей убедительности необходимо было бы провести исследование для некоторой выборки участников, однако из-за сложности организации проведения регулярных, в течение многих лет, наблюдений за артериальным давлением дважды в сутки, эксперимент даже с небольшой выборкой оказался невозможным. И несмотря на то что изначально группа участников была сформирована, только с одним участником удалось провести эксперимент в течение всего намеченного срока. При этом использование коротких или фрагментарных наблюдений других участников для анализа многосуточных ритмов невозможно с позиции спектральной и корреляционной обработки временных рядов.

Основной целью исследований было установление связи биологических и геофизических ритмов с использованием методов спектрального анализа. Следует отметить, что поскольку организм каждого человека очень индивидуален, то по проведенному исследованию нельзя сделать заключения по воздействию рассматриваемых факторов окружающей среды на человеческую популяцию, однако для первоначального взгляда на проблему некоторые выводы по воздействию окружающей среды на организм можно считать допустимыми. В то же время учет возможного влияния на человеческий организм в перспективе на определенных длинных ритмах позволит спрогнозировать наступление возможных обострений при развитии заболеваний.

## НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ

Наблюдения начали проводиться 3 января 2016 года. Артериальное давление измерялось дважды в сутки в 8 и 20 часов цифровым тонометром с погрешностью 1 мм рт. ст. Атмосферное давление, температура наружного воздуха и индекс геомагнитной активности фиксировались по официальным данным, публикуемым на откры-



**Рис. 1.** Временные серии наблюдений за артериальным давлением, ЧСС, атмосферным давлением и температурой, индексом геомагнитной активности. Шкала для первых трех параметров в мм рт. столба. Температура воздуха в градусах Цельсия, индекс геомагнитной активности – в баллах.

том сайте GISMETEO. Участнику эксперимента мужского пола, у которого проводили измерение артериального давления, на момент начала измерений исполнилось полных 69 лет. Его вес 90 кг и рост 184 см. Хронические заболевания в анамнезе отсутствуют. Зарегистрированные данные регулярно вводились в компьютер. Спектральную обработку рядов наблюдений проводили с помощью программы Кума [16]. Полученные временные ряды наблюдений приведены на рис. 1.

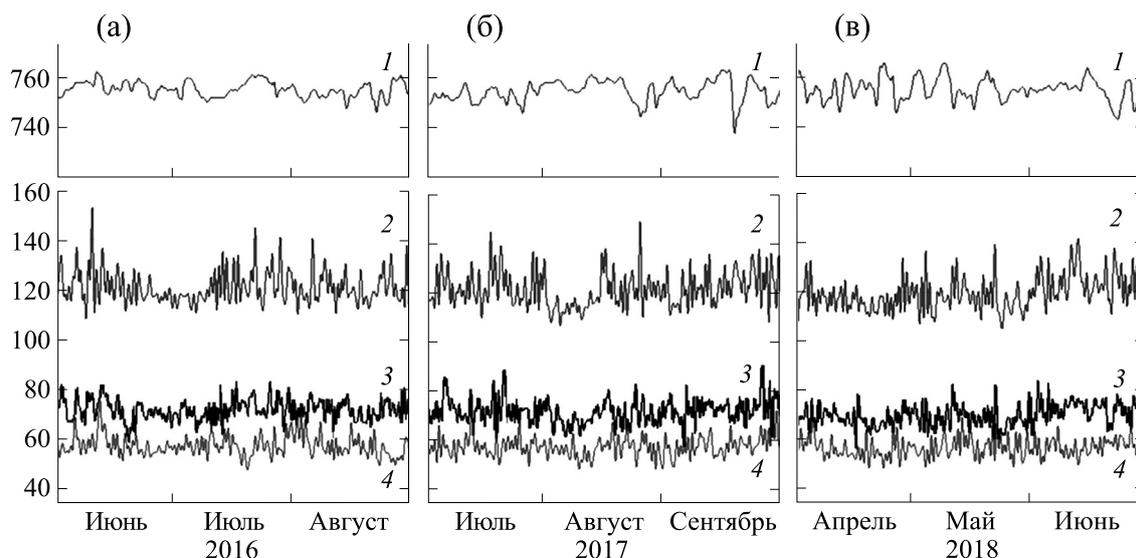
По временному ряду частоты сердечных сокращений (ЧСС) хорошо видно (рис. 1), что в течение пяти лет ширина линии (разница между утренней и вечерней ЧСС) постепенно увеличивалась. Возможно, что это связано с влиянием на частоту сокращений вегетативной нервной системы с возрастом.

Временные ряды, показанные на рис. 1, позволяют увидеть только общие закономерности. Поэтому для исходных рядов наблюдений с использованием средств программы Кума [16] был увеличен масштаб по оси времени и проведен более детальный анализ. Было установлено, что в периоды времени, когда атмосферное давление изменяется плавно и незначительно, в эти же периоды времени, достигающие по длительности 15 суток, наблюдается более спокойный сердечный ритм и колебания артериального давления (рис. 2а,б). Такие «спокойные» периоды времени бывают в летние месяцы с июля по август, обычно только один раз за сезон, и наблюдались, кроме

приведенных на рис. 2, еще в августе 2018 г. и июле 2019 г. Также отметим, что относительно стабильное атмосферное давление не означает стабилизации артериального давления (рис. 2в), когда оно происходит в другие месяцы.

Для установления причин повышения артериального давления в зависимости от окружающей среды с использованием программы MS Excel были отобраны все случаи, когда систолическое давление превышало 140 мм рт. ст., для этих случаев были построены графики диастолического давления, ЧСС, атмосферного давления и температуры, индекса геомагнитной активности. При этом кривые диастолического давления и ЧСС не содержали значительных колебаний. Так, диастолическое давление изменялось в пределах 76–90 мм рт. ст., а ЧСС – в диапазоне от 50 до 63. Поэтому полученную кривую систолического давления сравнивали только с кривыми атмосферного давления и индексом геомагнитной активности. Кривая атмосферного давления для рассматриваемых случаев превышения систолического давления практически не коррелировала с кривой самого систолического давления, коэффициент корреляции равен 0.058.

В то же время кривые систолического давления и индекса геомагнитной активности имели в три раза большую величину коэффициента корреляции, равную 0.184. Эти кривые приведены на рис. 3. Возможно, что коэффициент корреляции был бы значительно выше, поскольку до декабря



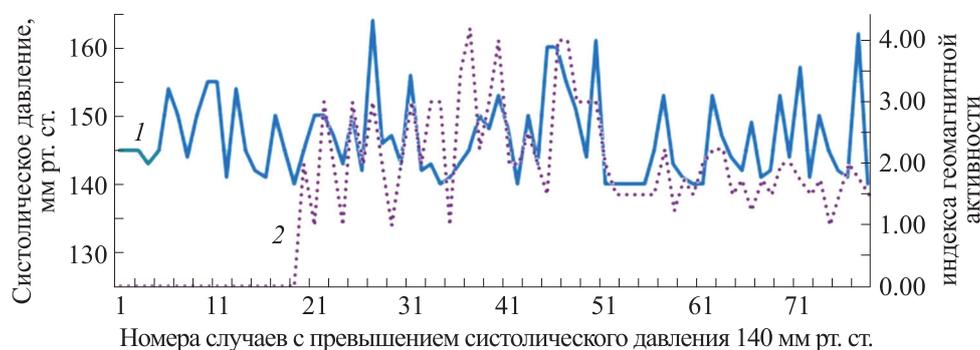
**Рис. 2.** Фрагменты временных рядов за время наблюдения: кривая 1 – атмосферное давление, кривая 2 – систолическое давление, кривая 3 – диастолическое давление, кривая 4 – ЧСС. Вертикальная шкала для давления приведена в мм рт. столба.

2016 г. фиксировались только значения индекса геомагнитной активности для величин более 4, и это отсутствие сплошного временного ряда видно на рис. 3 для кривой (б). На нем также хорошо видно, что пики систолического давления и индекса геомагнитной активности в большинстве случаев совпадают. Исходя из этого можно уверенно заключить, что геомагнитное поле с индексом активности более 2 влияет на повышение систолического давления у человека.

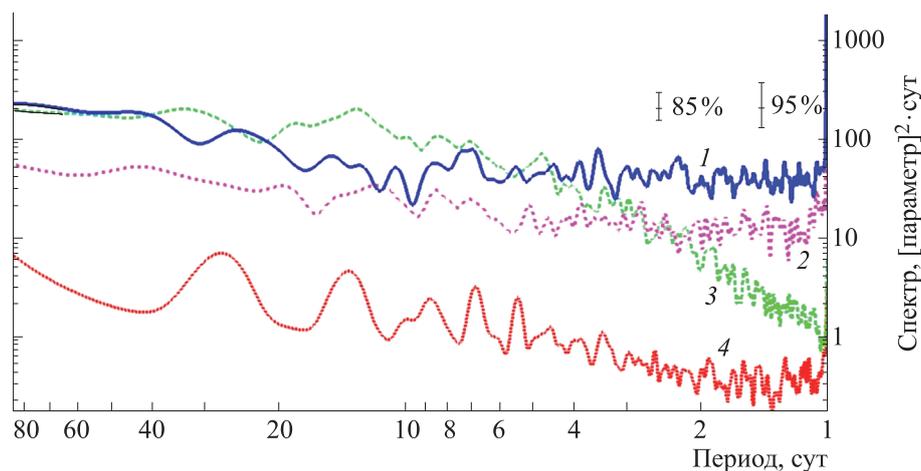
Перейдем к спектральному анализу по всей длине рядов. На рис. 4 приведены спектры колебаний систолического давления (спектр 1), ЧСС (спектр 2), атмосферного давления (спектр 3) и индекса геомагнитной активности (спектр 4), вычисленные по всей пятилетней длине временных

рядов наблюдений. На всех спектрах хорошо видны пики на периодах в одни сутки. Для систолического давления этот период соответствует так называемым циркадным ритмам [11, 17], которые являются главными биоритмами организма, характерными как для него в целом, так и для деятельности практически всех его органов и систем. В настоящее время у человека установлено более 1000 физиологических функций, имеющих циркадную ритмичность [17].

На спектральной кривой систолического давления также хорошо выделяется пик с периодом около 6.8 суток. Ритмы с таким периодом относят к циркасептаным, они являются ритмами метаболических процессов и выработки эндокринных гормонов [17]. Авторы этой работы полагают, что



**Рис. 3.** Кривые систолического давления (кривая 1) и индекса геомагнитной активности (кривая 2). Шкала давления в мм рт. столба, шкала индекса геомагнитной активности – в баллах. По оси абсцисс даны номера случаев с превышением систолического давления 140 мм рт. ст. и для этих случаев приведены значения индекса геомагнитной активности.



**Рис. 4.** Колебания систолического давления (спектр 1), ЧСС (спектр 2), атмосферного давления (спектр 3) и индекса геомагнитной активности (спектр 4), вычисленные по всей пятилетней длине временных рядов наблюдений.

недельные биологические ритмы сопоставимы с околонедельными ритмами солнечной активности.

Наблюдаемые колебания атмосферного давления имеют периодический характер суточного хода за счет приливных волн в атмосфере, усиливаемых резонансом с ее собственными колебаниями. Суточный ход давления хорошо выражен в тропиках, где его амплитуда может достигать в среднем 3–4 гПа. От тропиков к полюсам амплитуда суточных колебаний убывает [18]. В спектре колебаний атмосферного давления видны также пики величиной несколько меньше 95%-го доверительного интервала, но превышающими 85%-й интервал.

Колебания индекса геомагнитной активности, в том числе и с суточным периодом, определяются, как уже отмечалось выше, возмущением магнитного поля Земли потоком возмущенного солнечного ветра. Как следует из рис. 4, спектр зарегистрированных колебаний индекса геомагнитной активности содержит много пиков, превышающих 95%-й доверительный интервал, т.е. реальные колебания, которые могут оказывать влияние на разные по длительности биологические ритмы.

Наличие такого числа пиков связано с тем, что напряженность общего магнитного поля Земли складывается из нескольких частей [19]:

$$B = M + m + D + N + S + L,$$

где  $M$  – главное поле, обусловленное внутренними источниками;  $m$  – вековая вариация;  $D$  – регулярная или нерегулярная часть поля возмущений, связанная с внешними источниками;  $N$  – нециклическая вариация в спокойные периоды от внешних источников. Поле  $S$  является перио-

дическим и обусловлено влиянием Солнца. Поле  $L$  – также периодическое, возникает под влиянием Луны [20]. Также геомагнитные индексы показывают существование 27-суточных циклов геомагнитной активности солнечного происхождения [20], пик которых хорошо виден на рис. 4 в спектре 4.

Имеющиеся на приведенных на рис. 4 спектрах пики с доверительным интервалом более 85% занесены в табл. 1. Для сравнения приведены периоды вариаций геомагнитного поля согласно работе [20]. Таблица построена с целью сравнения ритмов и установления возможного влияния геомагнитного поля и атмосферного давления на систолическое давление и ЧСС. Определить это влияние с использованием функции когерентности не представляется возможным, поскольку, как показали вычисления, ее значения располагаются ниже доверительного уровня. Суточные ритмы и ритмы с более короткими периодами достаточно хорошо изучены и ниже не рассматриваются.

В табл. 1 жирным шрифтом выделены совпадающие или близкие периоды ритмов систолического давления и индекса геомагнитной активности, а жирным курсивом – совпадающие периоды ритмов ЧСС и атмосферного давления. Анализ таблицы показывает, что ритмы систолического давления хорошо согласуются с ритмами геомагнитной активности, а ритмы ЧСС – с ритмами атмосферного давления.

Появляющиеся в спектрах ритмы систолического давления с периодом 24.8 суток отличаются от 27-суточного периода вариаций геомагнитного поля [20] на 8.5%. Этот геомагнитный ритм связан с солнечным источником, о чем свидетельствует близость этого периода к среднему перио-

**Таблица 1.** Ритмы (периоды) систолического давления, индекса геомагнитной активности, атмосферного давления и ЧСС

Систолическое давление	Индекс геомагнитной активности	Атмосферное давление	ЧСС	Периоды вариаций геомагнитного поля [11]
44.5			43.3	32.6
		33.3		29.5
24.8	27.1			27
15		<b>18.5</b>	<b>19.0</b>	14.8
12.8	13.6	13	11.5	13.7
10.5				9.6
<b>8.6</b>	<b>8.8</b>	<b>8.4</b>	<b>8.4</b>	9
<b>6.8</b>	<b>6.8</b>		7.1	
<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>4.8</b>	<b>5.1</b>	6
<b>3.5</b>	<b>3.4</b>			
1	1	1	1	1

Примечание. Значения приведены в сутках, значения периодов вариаций геомагнитного поля округлены до одной цифры после запятой.

ду дифференциального вращения Солнца [20], варьирующемуся от 25 суток на солнечном экваторе до 30 суток на полюсах. Поэтому вполне возможно, что эти рассматриваемые ритмы связаны.

На периодах 4–10 суток – циркасептантных ритмов – в табл. 1 видно хорошее совпадение ритмов систолического давления и магнитной активности. Авторы работы [17] считают, что ритмы с этими периодами относятся к метаболическим процессам и выработке эндокринных гормонов. Они также полагают, что околонеделные ритмы характерны и для ряда патологических процессов, а именно критических дней после начала заболевания.

На периодах циркасептантных ритмов, как видно из табл. 1., проявляется связь между ритмами ЧСС и периодами колебаний атмосферного давления. И эти периоды значительно отличаются от периодов ритмов систолического давления и геомагнитной активности. Для пояснения ситуации обратимся к анализу возможных причин появления пиков в спектрах атмосферного давления.

Согласно многочисленным опубликованным исследованиям по динамике атмосферы, например [21], в атмосфере наблюдается большое разнообразие волновых и вихревых движений, что обусловлено влиянием сил различного происхождения. В свете рассматриваемых здесь ритмов интерес представляют атмосферные про-

цессы синоптического масштаба и связанные с ними синоптические волны и вихри (синоптический масштаб в атмосфере соответствует системам движения, имеющим горизонтальные размеры порядка  $10^3$  км и характерное время существования в несколько суток). Такие синоптические процессы в атмосфере – циклоны и антициклоны – играют первостепенную роль в формировании погодных условий на больших территориях.

Также отметим, что результаты исследований, приведенных в работе [22], показали, что при средних условиях спектры мощности атмосферного давления демонстрируют универсальные характеристики, согласующиеся с литературными данными, включая амплитуду энергии и наклон спектра  $-5/3$  в мезомасштабном диапазоне, переходящий в наклон  $-3$  для синоптического и планетарного масштабов. При этом практически нет разницы в годовых спектрах от разных мест за один и тот же год, а по данным за несколько лет они различаются только переходом наклона на частоте около  $10^{-4.5}$  Гц, т.е. на периодах меньше суточных, которые здесь не рассматриваются.

В работе [23] автор рассматривает два варианта формирования спектров колебания атмосферного давления. Первый из них предложен (см. работы [24, 25]) и объясняется существованием внут-

ренных гравитационных волн. Согласно этой гипотезе, длинные гравитационные волны распадаются на более короткие волны в непрерывной цепи, что приводит к положительному потоку энергии от больших до малых масштабов.

Во втором варианте, согласно гипотезе, изложенной в работе [26], спектр атмосферного давления является спектром двумерной турбулентности с отрицательным потоком энергии, т. е. поток от малых до больших масштабов, в соответствии с теорией двумерной турбулентности [27, 28].

Авторы настоящей работы полагают, что наличие пиков в спектрах атмосферного давления с периодами от 5 до 19 суток связаны с синоптическими процессами в атмосфере и их трансформацией в более короткие или длинные волны, что и определяет наличие нескольких пиков в спектре атмосферного давления. Периоды некоторых из этих пиков, как показывает табл. 1, совпадают с периодами ритмов ЧСС. Таким образом, можно заключить, что на ритмы ЧСС людей могут оказывать влияние проходящие через регион синоптические процессы в атмосфере типа циклонов и антициклонов и, в конечном итоге, влиять на самочувствие людей.

## ВЫВОДЫ

Проведены длительные пятилетние наблюдения (мониторирование) геофизических (экологических) ритмов – атмосферного давления, геомагнитной активности и биологических ритмов человека – артериального давления, ЧСС, для периодов колебаний и ритмов более суточных.

Установлено, что в периоды времени, когда атмосферное давление изменяется плавно и незначительно, в эти же периоды времени, достигающие по длительности 15 суток, наблюдается более спокойный сердечный ритм и колебания артериального давления. Такие «спокойные» периоды времени наблюдаются преимущественно в летние месяцы с июля по август, обычно только один раз за сезон. В то же время относительно стабильное атмосферное давление не способствует стабилизации артериального давления, когда оно происходит в другие месяцы.

Сравнение кривых колебаний систолического давления и индекса геомагнитной активности показали наличие корреляции между ними на уровне 0.184, в три раза превышающую значение корреляции между систолическим давлением и атмосферным давлением. Показано, что геомагнитное поле с индексом активности более 2 влияет на повышение систолического давления у человека.

Установлено хорошее совпадение ритмов систолического давления и магнитной активности

на периодах 4–10 суток – циркасептаных ритмов, которые, как считают авторы работы [17], относятся к метаболическим процессам и выработке эндокринных гормонов. Они также полагают, что околонедельные ритмы характерны и для ряда патологических процессов, а именно критических дней после начала заболевания.

Установлено, что периоды ритмов систолического давления совпадают с периодами ритмов геомагнитной активности, а периоды ритмов ЧСС – с периодами ритмов атмосферного давления. Это позволяет сделать вывод о различном и раздельном влиянии геофизических ритмов на разные биологические ритмы – ЧСС и систолическое давление.

Рассмотрены атмосферные процессы с ритмами синоптического диапазона, имеющие периоды в несколько суток, которые обусловлены циклонами и антициклонами. Показано, что периоды пиков в спектрах атмосферного давления согласуются с периодами ритмов ЧСС. Это позволяет сделать заключение, что на ритмы ЧСС людей могут оказывать влияние проходящие через регион синоптические процессы в атмосфере типа циклонов и антициклонов и, в конечном итоге, они могут влиять на самочувствие людей и больных в клиниках.

Поскольку гидрометеорологические службы публикуют прогнозные оценки вариаций атмосферного давления и индекса геомагнитной активности, в частности на сайте GISMETEO, результаты данного исследования могут быть использованы для прогнозирования состояния здоровья человека с возможностью своевременного принятия корректирующих мероприятий.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы-геофизики благодарят врача функциональной диагностики Т.Н. Шмараеву и терапевта онкологического диспансера А.Е. Мариченко за помощь в интерпретации результатов анализа.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Исследование было проведено без риска для здоровья испытуемого в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Участник исследования дал доб-

ровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о характере предстоящего исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумова В. В., Земцова Е. С., Щелев Д. Г. и Пилевский С. О. Вариабельность параметров кровообращения в зрелом возрасте. *Вестн. Санкт-Петербургского университета. Сер. 11*, № 3, 154–163 (2008).
2. Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Rimoldi O., Furlan R., Pizzinelli P., Sandrone G., Malfatto G., Dell'Orto S., and Piccaluga E. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res.*, **59** (2), 178–193 (1986). DOI: 10.1161/01.res.59.2.178
3. Артемова Н. М., Везенова И. В. и Соколов А. В. *Суточное мониторирование артериального давления в клинической практике: учебно-методическое пособие для ординаторов по специальности «Функциональная диагностика»* (Рязанский гос. мед. университет, Рязань, 2012).
4. Бородин А. С. *Вариации системного артериального давления человека: учебно-методическое пособие* (Томский государственный университет, Томск, 2011).
5. Остроумова О. Д., Гусева Т. Ф., Абакумов Ю. Г. и Батутина А. М. Вариабельность систолического и диастолического артериального давления при артериальной гипертензии: клиническая значимость, возможные патогенетические механизмы. *Кардиоваск. терапия и профилактика*, № 2, 91–94 (2003).
6. Баевский Р. М. и Иванов Г. Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*, № 3, 108–127 (2001).
7. Сергейчик О. И. *Модели и алгоритмы спектрального анализа обработки кардиологических временных рядов*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук (Тюмень, 2007).
8. Хаяутин В. М. и Лукошкова Е. В. Колебания частоты сердцебиений: спектральный анализ. *Вестн. аритмологии*, № 26, 10–21 (2002).
9. Steinmeier R., Bauhuf C., Hübner U., Bauer R. D., Fahlbusch R., Laumer R., and Bondar I. Slow rhythmic oscillations of blood pressure, intracranial pressure, microcirculation, and cerebral oxygenation. Dynamic interrelation and time course in humans. *Stroke*, **27** (12), 2236–2243 (1996). DOI: 10.1161/01.str.27.12.2236
10. Григорьев А. И. *Экология человека: учебник для вузов* (ГЭОТАР-Медиа, М., 2013).
11. Хильдебрандт Г., Мозер М. и Лехофер М. *Хронобиология и хрономедицина. Биологические ритмы и медицинское применение* (Арнебия, М., 2006).
12. Агулова Л. П. *Хронобиология: учеб. пособие* (Томск: Томский государственный университет, 2013).
13. Крылов В. В. Биологические эффекты геомагнитной активности: наблюдения, эксперименты и возможные механизмы. *Труды ИБВВ РАН*, № 84 (87), 7–38 (2018).
14. Jenkins G. M. and Watts D. G. *Spectral analysis and its applications* (Holden-Day, San Francisco, 1969).
15. Marple S. L. *Digital Spectral Analysis, with Applications* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987).
16. Ковалев Д. П. Программа для ЭВМ Кума. *Федеральная служба по интеллектуальной собственности*, Свидетельство 2018618778 от 19.07.2018.
17. Чибисов С. М., Благоднаров М. Л. и Фролов В. А. *Телеметрическое мониторирование в патофизиологии сердца и хронокардиологии. Учеб. пособие* (РУДН, М., 2008).
18. Зубашенко Е. М., Шмыков В. И., Немыкин А. Я. и Полякова Н. В. *Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Часть 1.* (ВГПУ, Воронеж, 2007).
19. *Солнечная и земная физика. Справочник. 2002–2012* (Сервер «СиЗиФ»), <http://www.kosmofizika.ru/spravka.htm>.
20. Рябова С. А. *Геомагнитные вариации и синхронные с ними вариации уровня подземных вод и микросейсмического фона в условиях средних широт*. Дис. ... канд. физ.-мат. наук (М., 2018).
21. Солдатенко С. А. Синоптические вихри в атмосфере и океане. *Соровский образоват. журн.*, № 2, 78–84. (1999).
22. Larsén X. G., Vincent C. L., and Larsen S. E. Spectral structure of mesoscale winds over the water. *Quart. J. Roy. Meteorolog. Soc.*, **139** (672), 685–700 (2013).
23. Lindborg E. Can the atmospheric kinetic energy spectrum be explained by two-dimensional turbulence? *J. Fluid Mech.*, **388**, 259–288 (1999).
24. Dewan E. M. Stratospheric spectra resembling turbulence. *Science*, **204**, 832–835 (1979).
25. Van Zandt T. E. A universal spectrum of buoyancy waves in the atmosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **9**, 575–578 (1982).
26. Gage K. S. Evidence for a  $k^{-5/3}$  law inertial range in mesoscale two-dimensional turbulence. *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1950–1954 (1979).
27. Kraichnan R. H. Inertial ranges in two-dimensional turbulence. *Phys. Fluids*, **10**, 1417–1423 (1967).
28. Kraichnan R. H. Inertial-range transfer in two- and three-dimensional turbulence. *J. Fluid Mech.*, **47**, 525–535 (1970).

## Relationship of Geophysical Rhythms with Human Blood Pressure and Heart Rate. Case Study

P.D. Kovalev\* and D.P. Kovalev\*

*\*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
ul. Nauki 1B, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022 Russia*

This paper considers time series data collected over a five year interval of time on geophysical (environmental) rhythms of atmospheric pressure and geomagnetic activity and their impact on human biorhythms - blood pressure and frequency of heart rate over a longer time step than one day was evaluated. It was found that during the periods that last around 15 days, when atmospheric pressure changes smoothly and slightly, the heart beats quietly and minor fluctuations in blood pressure are observed. These "quiet" periods are mainly expected during summer months from July to August, usually only once a year. A comparison of the graphs of systolic blood pressure fluctuations with the graph of geomagnetic activity index showed that correlation coefficients between systolic blood pressure fluctuations and geomagnetic activity index were three times greater than those between systolic blood pressure and atmospheric pressure. Thus, the results obtained demonstrate that the geomagnetic field with an activity index of greater than 2 has a greater effect on elevation of systolic blood pressure in people. The analysis also showed that the intervals of the spectral peaks in spectra of atmospheric pressure are well consistent with the intervals between each heartbeat. This indicates that the heart rate of people can be influenced by synoptic processes passing through the region in the atmosphere such as cyclones and anticyclones, and, ultimately, they can affect the well-being of elderly and ill individuals. The results obtained during this study in combination with geophysical data from hydrometeorological centers can help forecast the state of human health.

*Keywords: geophysical and biological rhythms, blood pressure, heart rate, atmospheric pressure, geomagnetic activity*