

УДК 577.4+612.13(470.13)

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОМАГНИТНЫХ ФАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

© 2015 г. Т.А. Зенченко<sup>1,2</sup>, Н.Г. Варламова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия

Проведен анализ влияния вариаций метеорологических и геомагнитных факторов на показатели гемодинамики (ПГ) 27 здоровых волонтеров, постоянных жителей г. Сыктывкар (ежедневные наблюдения уровня артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), ударного и минутного объема крови за период 01.12.2003 г. – 31.12.2004 г.). Показано, что в наибольшей степени на изменения ПГ влияют атмосферная температура (85 % случаев) и уровень геомагнитной активности (ГМА) (48 % случаев). Показатели АД повышаются с понижением значений температуры и при возрастании уровня ГМА. Чувствительность показателей систолического и диастолического АД к метео- и геомагнитным факторам примерно в 2 раза превышает чувствительность к ним остальных ПГ. Индивидуальные величины сезонных изменений показателей АД составляют 4–9 мм рт. ст. в случае систолического АД и 3–6 мм рт. ст. в случае диастолического АД. Полученные оценки характеристик метео- и магниточувствительности жителей северных широт хорошо согласуются с результатами, полученными нами ранее для других климатических зон и геомагнитных условий, логично дополняя и расширяя общую пространственно-временную картину реакций организма человека на действие внешних факторов.

*Ключевые слова:* артериальное давление, показатели гемодинамики, индивидуальная метеочувствительность, геомагнитная активность, Север.

*PACS 91.62.Xy* (Biosphere/atmosphere interactions)

### Введение

До настоящего времени абсолютное большинство работ в области биоклиматологии посвящено исследованию состояния патологии, когда под гелиометеотропными реакциями (т.е. чувствительностью к факторам окружающей среды) обычно понимается уси-

ление симптомов хронических заболеваний или значительное ухудшение самочувствия [Ассман, 1966; Андропова и др., 1982; Авцын и др., 1985; Никберг и др., 1986; Шеповальников, Сороко, 1992]. В меньшей степени биоклиматологические исследования направлены на изучение процессов адаптации здоровых лиц к экстремальным условиям окружающей среды, например к условиям Севера России [Деряпа, Рябинин, 1977; Андропова и др., 1982; Пастухов, Коваленко, 1983; Агаджанян, Петрова, 1996; Бойко, 2005; Евдокимов и др., 2007; Андрущенко и др., 2007; Варламова, 2011; Гудков и др., 2012; Солонин и др., 2013] или к условиям полярных зимовок [Шеповальников, Сороко, 1992].

Сходная ситуация наблюдается и в исследованиях солнечно-биосферных эффектов: в течение многих лет основное внимание исследователей было направлено на оценку риска развития различных патологий, обусловленных резкими изменениями космической погоды: солнечные вспышки, магнитные бури, солнечные протонные события, резкие изменения интенсивности нейтронного потока (форбуш-понижения) и т.п. [Гневыхов и др., 1971; Алабовский, Бабенко, 1971; Виллорези и др., 1995; Stoupelet et al., 1997, 2008, 2009; Stoupelet, 1999; Владимирский, Темуриянц, 2000; Бреус, 2003; Гурфинкель, 2004].

Что касается здоровых жителей средних широт, то долгое время принято было считать, что к вариациям метеорологических и геомагнитных факторов организм здорового человека, как правило, хорошо приспосабливается, и поэтому они не сказываются на его самочувствии и настроении. Однако в последние годы оценке влияния внешних факторов на функциональное состояние здоровых людей стали уделять больше внимания [Белишева и др., 1995; Агулова, 1998; Поскотинова, Григорьев, 2008]. Мы в своих работах также многократно показывали, что от 30 до 80% лиц разного возраста и медицинского статуса реагируют на вариации геомагнитных и метеорологических факторов изменениями уровня АД и ЧСС [Зенченко и др., 2007–2013], состояния микроциркуляторного русла [Зенченко и др., 2010, 2011a], баланса вегетативной нервной системы [Марков и др., 2013; Зенченко и др., 2011b], показателей сосудистого тонуса [Gurfinkel et al., 2012], психофизиологических показателей [Зенченко и др., 2008].

Однако обобщить полученные разными исследователями результаты до уровня единой рабочей модели, логично объясняющей реакции организма на вариации метеорологических и геофизических факторов, долгое время не представлялось возможным. Причина заключалась в видимом противоречии получаемых результатов: обнаруживались эффекты обоих знаков, количество значимых корреляций сильно варьировало при наблюдении разных групп лиц, сами наблюдения различались по месту и сезону проведения измерений. В то же время необходимость построения такой рабочей модели становилась все более актуальной, во-первых, в силу необходимости оценки индивидуального риска метеотропных реакций у здоровых людей, и во-вторых, как базовая теоретическая основа для прогноза возникновения и развития осложнений у больных с различными патологиями.

Чтобы объяснить различия в результатах разных исследователей, в работе [Зенченко, 2012] мы сформулировали предположение, что наблюдаемые знаки и величины изменений физиологических показателей под действием внешних факторов являются не константами, а текущими значениями многопараметрической функции, сложным образом зависящей от времени, географического положения и внешних условий проведения мониторинга, а также от индивидуальных характеристик волонтера. Задача восстановления полного вида такой функции является крайне сложной и трудоемкой, однако это абсолютно необходимый начальный этап построения общей модели гелиометеотропных реакций организма.

В работе [Зенченко, 2012] предложен метод решения этой задачи, названный методом последовательных приближений. Суть метода – в постепенном уточнении вида

многопараметрической функции путем анализа и обобщения все новых данных о чувствительности к метео- и геомагнитным факторам различных физиологических показателей человека, получаемых в разных географических точках и в разное время с использованием единой унифицированной методики измерений и стандартного алгоритма анализа. Результаты сохраняются в единой, непрерывно пополняемой базе данных, на настоящий момент содержащей заключения об индивидуальной метео- и магнито-чувствительности 263 волонтеров разного возраста, жителей Москвы, Софии, Симферополя, Сыктывкара, Архангельска и Ростова-на-Дону.

В настоящей работе нами были поставлены следующие цели:

- оценить характеристики индивидуальной реакции показателей гемодинамики практически здоровых людей на действие метеорологических и геомагнитных факторов в условиях Севера;
- ранжировать физиологические показатели по степени их чувствительности к внешним факторам, а метеорологические и геофизические параметры – по их вкладу в вариации ФП;
- сопоставить результаты с аналогичными данными, полученными ранее в других климатических условиях и на других группах волонтеров, расширив, таким образом, область определенных значений исследуемой многопараметрической функции.

### Исходные материалы и методы расчетов

На протяжении одного года (01.12.2003 г. – 31.12.2004 г.) проводилось ежедневное измерение АД и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у 27 практически здоровых женщин-волонтеров (в возрасте  $42.0 \pm 13.2$  года), проживающих в г. Сыктывкаре ( $62^\circ$  с.ш.) и занятых умственным трудом. Стаж проживания женщин на Севере был сравним с их возрастом. На всем протяжении эксперимента измерения производились методом Короткова одним и тем же сотрудником посредством одного и того же аппарата для измерения АД (BP AG1-30), что обеспечивало постоянство вклада «аппаратной функции» и «функции оператора». Измерения АД и ЧСС проводили в положении сидя, после пятиминутной адаптации, 1 раз в сутки (в интервале с 9 до 12 ч) по рабочим дням, чтобы максимально исключить вклад как суточного, так и возможного социального недельного ритма в динамику измеряемых показателей [Халберг, Шварцкопфф, 2010; Халберг и др., 2014]. Значения АД измеряли троекратно, с интервалом в 30–50 с [Гурфинкель и др., 2009], после чего вычисляли среднее арифметическое по трем измеренным значениям САД и ДАД. Частоту пульса подсчитывали пальпаторно за 1 мин.

Ударный (УО) и минутный (МОК) объемы кровообращения рассчитывали по формулам [Гидродинамика..., 1971; Каро и др., 1981]:

$$\text{УО} = 100 + \text{САД} / (2 - 0.6 \cdot \text{ДАД} - 0.6 \cdot \text{число прожитых лет}),$$

$$\text{МОК} = \text{УО} \cdot \text{ЧСС},$$

где УО – ударный объем крови в мл; САД – систолическое АД в мм рт. ст.; ДАД – диастолическое АД в мм рт. ст.; ЧСС – частота сердечных сокращений в уд./мин.

Измеренные физиологические показатели находись в пределах нормы [Власов, Окунева, 1983; Джананишия и др., 2007]. Был проведен индивидуальный анализ зависимостей САД, ДАД, ЧСС, УО и МОК от метеорологических и геомагнитных показателей: атмосферного давления ( $P_{\text{атм}}$ ) и температуры ( $T_{\text{атм}}$ ), их суточных вариаций ( $dP$  и  $dT$ ), относительной влажности воздуха (RH), весового содержания кислорода в воздухе ( $P(\text{O}_2)$ ), суточных значений уровня планетарной геомагнитной активности ( $K_p$ - и  $A_p$ -индексы).

Данные значений метеорологических параметров по г. Сыктывкар получены с сайта <http://meteo.infospace.ru/>, по уровню геомагнитной активности – с сайта [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC\\_DATA/INDICES/KP\\_AP](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/KP_AP).

В расчетах использовались среднесуточные значения, полученные вычислением среднего арифметического (для  $P_{\text{атм}}$ , RH,  $T_{\text{атм}}$  и  $A_p$ -индекса) и суммированием (для  $K_p$ -индекса) восьми трехчасовых показателей.

Значения весового содержания кислорода в атмосферном воздухе были рассчитаны по формуле Клапейрона

$$P = \frac{P_{\text{атм}} - e}{R \cdot T} \cdot 0.232 = 80.83 \frac{P_{\text{атм}} - e}{R} \text{ (г/м}^3\text{)},$$

где  $P_{\text{атм}}$  и  $e$  – атмосферное давление и абсолютная влажность воздуха соответственно в гПа (hPa);  $T$  – температура воздуха в К;  $R$  – газовая постоянная для сухого воздуха, равная 287 Дж/кг·К; 0.232 – доля кислорода по весу в сухом воздухе.

Расчеты производили в программной среде Матлаб R2010a. Методы анализа – кросс-корреляционный, регрессионный и дисперсионный.

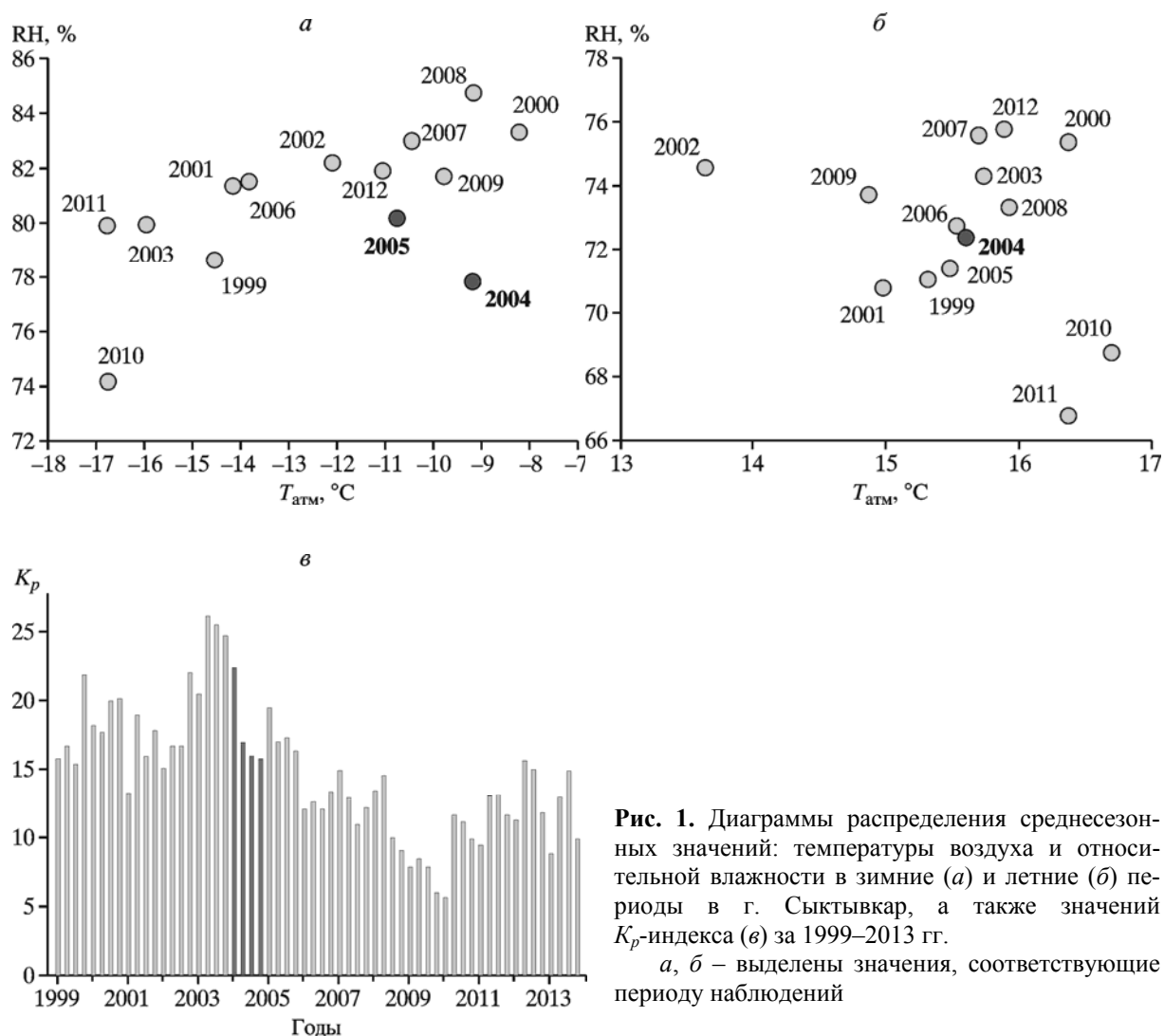
*Корреляционный анализ.* Для оценки степени статистической связи были рассчитаны коэффициент корреляции Спирмена  $r_s$  и уровень его значимости  $p$ . Для удобства представления результатов по каждой паре  $r_s$  и  $p$  был рассчитан комбинированный коэффициент тесноты связи  $K_s = -\text{sign}(r_s) \cdot \lg(p)$ . Такая форма представления результатов имеет преимущества по сравнению с традиционной (пары значений  $r_s$  и  $p$ ) при анализе больших массивов результатов. Использование  $K_s$  позволяет: 1) оперировать с одним показателем вместо двух, используемых ранее; 2) сравнивать и отображать на графиках результаты, полученные на временных рядах разной длины; 3)  $K_s$  возрастает (а не уменьшается, как  $p$ ) при повышении степени корреляционной зависимости. Все это упрощает анализ результатов, не приводя при этом к потере информации, поскольку сохраняет знак корреляции. При этом значения  $K_s > 1.3$  и  $K_s < -1.3$  (где  $1.3 = -\lg(0.05)$ ) означают наличие соответственно положительной и отрицательной корреляции с уровнем значимости  $p < 0.05$ ,  $|K_s| > 2$  – наличие корреляции с уровнем значимости  $p < 0.01$ , а  $|K_s| < 1.3$  – отсутствие статистически значимой корреляции.

*Регрессионный анализ.* В данной работе были проанализированы временные ряды, включающие от 72 до 350 индивидуальных измерений, при этом выполненные на протяжении всех сезонов. Это обеспечило значительный массив индивидуальных данных и дало основание применить для их аппроксимации полиномы степени выше первой. В качестве показателя степени зависимости определенного ФП от параметра внешней среды был использован коэффициент детерминации ( $R^2$ ), полученный при аппроксимации данной зависимости полиномом третьей степени.

*Дисперсионный анализ.* Одним из важных в практическом использовании показателей является величина систематического сдвига средних значений индивидуальных показателей АД и ЧСС, обусловленных значительными изменениями характеристик внешнего фактора (например, изменение среднего уровня АД при переходе от зимы к лету и наоборот). Для оценки нормальности распределений использовали критерий Жарка–Берра; в случае выполнения гипотезы о нормальности распределения вычисляли среднее значение и среднеквадратичное отклонение, а также  $t$ -тест Стьюдента для оценки их различия. В случае отклонения гипотезы от нормальности вычисляли медиану и квартили, а для различия выборок применяли непараметрический критерий Вилкоксона. Величину изменений рассчитывали как разность средних значений ФП, измеренных при высоких и при низких значениях соответствующего метеорологического или геомагнитного параметра.

## Результаты

**Характеристика внешних факторов в период проведения наблюдений.** Усредненные по сезонам значения метеорологических показателей атмосферной температуры и относительной влажности в период наблюдения в г. Сыктывкар были близки к среднеклиматическим нормам как в зимние периоды («2004» и «2005» на рис. 1, а), так и в летний («2004» на рис. 1, б). В то же время значения  $K_p$ -индекса (рис. 1, в) в начале периода наблюдений (зима 2004 г.,  $K_p = 22.4$ ) приближались к максимальным значениям ГМА (2003 г.,  $K_p = 25-26$ ), зарегистрированным в период наблюдений. В остальные сезоны 2004 г. его значения (15.7–17.0) превышали средний уровень ГМА (14.6) в данном цикле.

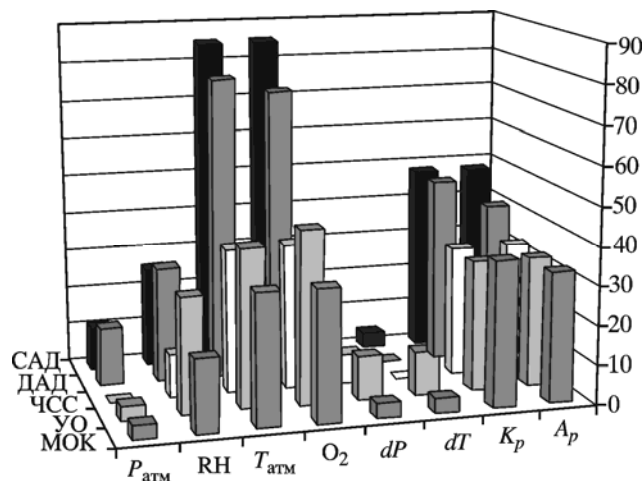


**Рис. 1.** Диаграммы распределения среднесезонных значений: температуры воздуха и относительной влажности в зимние (а) и летние (б) периоды в г. Сыктывкар, а также значений  $K_p$ -индекса (в) за 1999–2013 гг.

а, б – выделены значения, соответствующие периоду наблюдений

**Результаты индивидуального анализа** статистической связи между пятью указанными выше ФП и 8 параметрами внешних факторов для каждого из 27 волонтеров обобщены на рис. 2.

Можно выделить три отчетливо различающихся уровня зависимости гемодинамических показателей от внешних факторов (см. рис. 2). Самый высокий уровень (70–80 % случаев) характерен для показателей САД и ДАД с  $T_{\text{атм}}$  и функционально связанными



**Рис. 2.** Процент случаев значимой корреляции показателей гемодинамики всех (27) волонтеров с метеорологическими и геомагнитными параметрами за период наблюдений

Высота столбика по оси аппликат указывает, у какого процента волонтеров наблюдалась значимая ( $p < 0.05$ , т.е.  $|K_s| > 1.3$ ) корреляция между данными показателями

с ним  $P(O_2)$ . Второй уровень – 30–50 % – характерен для зависимости показателей ЧСС, УО и МОК от  $T_{атм}$  и  $P(O_2)$ , а также всех пяти ФП от индексов  $K_p$  и  $A_p$ . Причем зависимость от уровня ГМА, аналогично зависимости от  $T_{атм}$ , более выражена для показателей уровня АД, чем для ЧСС, УО и МОК. К третьему уровню, практически означающему отсутствие статистической связи, можно отнести зависимость всех пяти ФП от  $P_{атм}$ ,  $dP$  и  $dT$ .

Более подробно результаты анализа статистической связи обоих показателей АД с внешними факторами приведены в табл. 1 и 2, где указаны значения комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  для САД (см. табл. 1) и ДАД (см. табл. 2) со всеми исследованными параметрами окружающей среды индивидуально по каждому волонтеру. Необходимо обратить внимание, что во всех случаях, когда наблюдалась значимая корреляция хотя бы одного из показателей АД и  $T_{атм}$  (23 случая из 27, 85 %), знак корреляции был отрицательным. Таким образом, для подавляющего числа волонтеров уровень АД, особенно уровень САД, *возрастает при понижении атмосферной температуры*. Частота встречаемости случаев значимой корреляции ЧСС, УО и МОК с  $T_{атм}$  (табл. 3) составила соответственно 37, 41, 33 %, т.е. более чем в 2 раза меньше, чем для показателей АД, причем для этих ФП встречаются корреляции обоих знаков.

На рис. 3 приведен типичный пример, иллюстрирующий влияние вариаций  $T_{атм}$  на изменение измеряемых значений САД у одного из испытуемых (волонтер 19, 49 лет) и этапы математической оценки данного влияния. На рис. 3, а показаны исходные временные ряды синхронных значений САД и  $T_{атм}$  (в инвертированной шкале). Видно, что значения показателя САД изменяются синхронно с вариациями  $T_{атм}$ , причем синхронизованы как медленные сезонные тренды, так и вариации длительностью в несколько суток. Это наблюдение подтверждается характером кросс-корреляционной функции, приведенной на рис. 3, б. Линия 1 показывает динамику показателя  $K_s$  для исходных временных рядов САД и  $T_{атм}$  при временных сдвигах от –10 до 10 сут. Видно, что присутствующая в рядах синхронность долговременных сезонных трендов (см. рис. 3, а) приводит к широкому и глубокому экстремуму: при величинах сдвига от –2 до 5 сут значения  $K_s$  составляют от –8 до –10 (т.е. уровень значимости коэффициента корреляции при этих сдвигах  $p = 10^{-10}$ – $10^{-8}$ ). Однако даже после исключения этих трендов из исходных рядов (см. рис. 3, б, линия 2) корреляция вблизи нулевых сдвигов имеет значимость  $p < 0.05$  ( $K_s < -1.3$ ), что подтверждает синхронность колебаний  $T_{атм}$  и САД с периодами 4–7 сут.

**Таблица 1.** Величины комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  между показателем САД и всеми параметрами внешних факторов для всех (27) волонтеров

Номер волонтера	Кол-во точек	$K(P)$	$K(RH)$	$K(T)$	$K(O_2)$	$K(dP)$	$K(dT)$	$K(K_p)$	$K(A_p)$
1	350	0.79	-0.28	<b>-10.73</b>	<b>10.87</b>	0.45	0.61	0.19	0.14
2	226	-0.54	0.84	<b>-5.22</b>	<b>5.06</b>	-0.13	0.01	<b>1.63</b>	<b>1.76</b>
3	207	-0.69	0.42	<b>-8.56</b>	<b>7.57</b>	0.30	-0.56	1.16	<b>1.29</b>
4	72	0.04	0.92	<b>-2.48</b>	<b>2.36</b>	<b>1.88</b>	-0.60	-0.22	-0.22
5	99	0.20	0.97	<b>-2.93</b>	<b>3.18</b>	-0.26	-0.11	0.81	0.79
6	194	-0.31	0.34	-0.57	0.47	0.15	0.18	-0.30	-0.17
7	100	0.76	<b>-1.84</b>	<b>-5.06</b>	<b>5.85</b>	0.18	-0.30	<b>1.94</b>	<b>1.93</b>
8	172	-0.34	-0.05	<b>-2.98</b>	<b>2.74</b>	0.33	-1.09	<b>1.36</b>	1.27
9	142	0.30	-0.55	-1.25	1.26	-0.24	0.05	<b>-2.00</b>	<b>-1.56</b>
10	122	-0.88	0.64	<b>-5.33</b>	<b>4.63</b>	0.24	0.19	<b>2.12</b>	<b>2.11</b>
11	230	-0.01	-0.01	<b>-3.71</b>	<b>3.52</b>	1.17	-1.17	1.28	1.07
12	207	0.34	-0.30	<b>-5.49</b>	<b>5.59</b>	0.12	-0.38	<b>2.42</b>	<b>2.19</b>
13	228	<b>-3.10</b>	0.24	-0.56	0.18	-0.05	0.05	0.48	0.28
14	207	<b>-3.45</b>	<b>7.05</b>	<b>-5.75</b>	<b>3.54</b>	-0.11	-0.10	0.89	0.66
15	207	-0.64	-0.73	-0.97	0.71	0.66	0.05	0.14	0.29
16	169	0.45	-0.54	<b>-7.55</b>	<b>8.08</b>	0.18	-0.64	<b>1.34</b>	<b>1.30</b>
17	185	-1.11	<b>2.01</b>	<b>-1.86</b>	<b>1.45</b>	-0.16	0.12	0.12	0.15
18	222	<b>-2.12</b>	<b>3.20</b>	<b>-8.94</b>	<b>6.91</b>	-0.01	0.71	<b>2.68</b>	<b>2.50</b>
19	187	0.46	-0.48	<b>-9.21</b>	<b>9.23</b>	<b>1.49</b>	-0.57	<b>2.26</b>	<b>2.10</b>
21	186	-0.12	<b>2.22</b>	<b>-6.23</b>	<b>5.96</b>	0.09	-0.24	-0.05	-0.08
22	145	0.05	-0.21	<b>-3.85</b>	<b>3.35</b>	0.73	<b>-2.99</b>	<b>2.75</b>	<b>3.02</b>
24	186	-0.96	<b>2.48</b>	<b>-8.99</b>	<b>8.03</b>	-0.23	-0.09	-0.20	-0.14
26	154	-0.32	<b>1.87</b>	<b>-7.02</b>	<b>6.27</b>	0.11	0.16	<b>3.42</b>	<b>3.52</b>
32	169	-0.17	-0.36	<b>-4.57</b>	<b>4.21</b>	0.03	0.42	<b>1.85</b>	<b>1.87</b>
33	122	-0.26	-0.53	<b>-1.85</b>	<b>1.39</b>	<b>1.30</b>	-0.64	0.19	0.20
34	186	-1.06	0.05	<b>-4.34</b>	<b>3.12</b>	0.50	-0.44	<b>3.98</b>	<b>4.10</b>
35	231	0.14	0.78	<b>-2.98</b>	<b>3.19</b>	0.21	-1.21	0.13	0.28

*Примечание.* Здесь и далее в табл. 2–4 полужирным выделены статистически значимые величины показателей.

**Таблица 2.** Величины комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  между показателем ДАД и всеми параметрами внешних факторов для всех (27) волонтеров

Номер волонтера	Кол-во точек	$K(P)$	$K(RH)$	$K(T)$	$K(O_2)$	$K(dP)$	$K(dT)$	$K(K_p)$	$K(A_p)$
1	350	0.64	<b>1.49</b>	<b>-12.77</b>	<b>12.55</b>	0.75	0.17	0.44	0.40
2	226	-1.03	1.03	<b>-5.70</b>	<b>4.96</b>	-0.27	-0.01	0.00	0.03
3	207	0.16	0.49	<b>-7.58</b>	<b>7.27</b>	0.98	-0.64	0.54	0.66
4	72	0.33	1.06	-0.91	1.01	0.44	-0.05	-0.03	0.03
5	99	0.28	1.19	-0.75	0.96	0.17	-0.78	0.15	0.17
6	194	-1.03	0.58	-0.35	0.18	-0.02	0.24	-0.03	0.07
7	100	0.17	-0.29	-0.35	0.42	-0.14	0.13	-0.14	-0.12
8	172	-0.21	-0.06	<b>-1.69</b>	<b>1.63</b>	0.21	-0.63	<b>1.33</b>	1.12
9	142	-0.08	0.04	<b>-2.67</b>	<b>1.79</b>	0.01	-1.23	<b>-3.51</b>	<b>-3.08</b>
10	122	-0.13	0.90	<b>-5.06</b>	<b>4.82</b>	0.61	-0.46	<b>3.46</b>	<b>3.39</b>
11	230	0.12	-0.09	<b>-2.79</b>	<b>2.89</b>	<b>1.59</b>	-0.70	<b>2.24</b>	<b>2.03</b>
12	207	0.50	-0.22	<b>-3.10</b>	<b>3.35</b>	0.04	-0.39	<b>2.04</b>	<b>1.78</b>
13	228	-0.26	0.13	<b>-1.84</b>	<b>1.62</b>	1.14	0.10	0.62	0.47
14	207	<b>-3.44</b>	<b>7.20</b>	<b>-3.81</b>	<b>2.24</b>	-0.64	0.36	0.10	0.04
15	207	-0.15	-0.17	-0.23	0.17	0.85	-0.11	-0.10	0.01
16	169	-0.21	-0.03	<b>-4.43</b>	<b>4.10</b>	-0.01	-0.73	<b>1.96</b>	<b>2.02</b>
17	185	<b>-2.56</b>	<b>2.10</b>	<b>-5.85</b>	<b>4.27</b>	-0.03	0.13	<b>1.52</b>	<b>1.56</b>
18	222	-1.11	<b>1.59</b>	<b>-10.54</b>	<b>8.74</b>	0.26	-0.59	<b>3.71</b>	<b>3.22</b>
19	187	-0.11	0.10	<b>-5.38</b>	<b>4.75</b>	1.21	-0.73	<b>1.49</b>	<b>1.29</b>
21	186	-0.56	<b>1.62</b>	<b>-2.39</b>	<b>1.97</b>	-0.42	0.25	-0.13	-0.03
22	145	0.52	0.20	-0.14	0.09	0.34	-0.63	0.26	0.28
24	186	<b>-1.62</b>	<b>3.86</b>	<b>-11.43</b>	<b>10.37</b>	-0.15	-0.32	0.42	0.49
26	154	-0.18	<b>1.71</b>	<b>-4.15</b>	<b>3.98</b>	-0.33	-0.04	<b>1.96</b>	<b>2.00</b>
32	169	-0.53	-0.77	<b>-2.45</b>	<b>1.98</b>	-0.42	0.19	<b>1.31</b>	1.22
33	122	-0.73	0.00	<b>-6.73</b>	<b>5.80</b>	0.80	-0.42	0.71	0.78
34	186	<b>-2.00</b>	0.07	<b>-1.75</b>	0.98	0.61	0.34	<b>2.67</b>	<b>2.78</b>
35	231	-0.08	<b>2.65</b>	<b>-9.60</b>	<b>8.96</b>	0.13	-0.32	<b>3.70</b>	<b>3.81</b>

**Таблица 3.** Величины комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  между всеми показателями гемодинамики всех (27) волонтеров и  $T_{\text{атм}}$

Номер волонтера	САД	ДАД	ЧСС	УО	МОК
1	-10.73	-12.77	-1.18	-0.20	-0.95
2	-5.22	-5.70	-0.87	0.28	-0.71
3	-8.56	-7.58	2.40	-0.85	0.84
4	-2.48	-0.91	0.68	-0.74	0.49
5	-2.93	-0.75	0.01	-2.23	-0.53
6	-0.57	-0.35	0.00	-1.20	-0.28
7	-5.06	-0.35	-0.18	-2.60	-0.81
8	-2.98	-1.69	-0.18	-1.92	-0.72
9	-1.25	-2.67	2.75	0.05	2.22
10	-5.33	-5.06	-1.66	-0.45	-1.72
11	-3.71	-2.79	-0.02	-0.71	-0.36
12	-5.49	-3.10	-3.69	-3.08	-5.92
13	-0.56	-1.84	0.17	1.02	0.61
14	-5.75	-3.81	-3.60	-0.95	-4.16
15	-0.97	-0.23	-1.23	-0.93	-1.35
16	-7.55	-4.43	-1.51	-4.18	-3.52
17	-1.86	-5.85	-1.37	3.08	-0.33
18	-8.94	-10.54	0.07	0.07	0.11
19	-9.21	-5.38	0.49	-0.73	0.26
21	-6.23	-2.39	0.65	-2.07	0.08
22	-3.85	-0.14	-2.67	-4.30	-3.94
24	-8.99	-11.43	1.76	-0.14	1.18
26	-7.02	-4.15	-0.15	-3.33	-1.94
32	-4.57	-2.45	0.49	-0.40	0.23
33	-1.85	-6.73	14.17	2.36	13.99
34	-4.34	-1.75	0.43	-0.03	0.40
35	-2.98	-9.60	-0.61	5.83	0.35

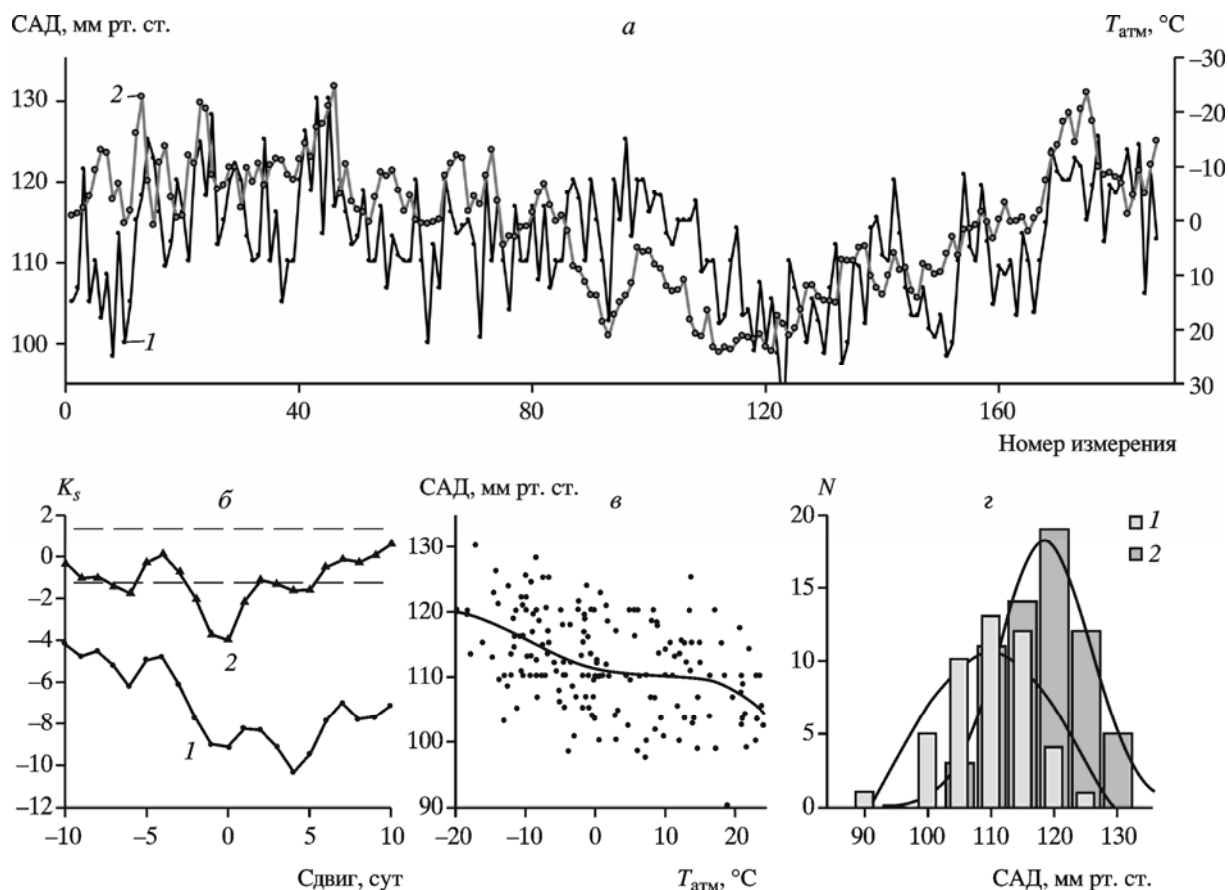
На рис. 3, *в* показана зависимость значений САД от  $T_{\text{атм}}$  и линия регрессии данной зависимости полиномом 4-й степени. При этом коэффициент детерминации равен  $R^2 = 0.218$ , т.е. примерно 22 % вариаций САД описываются данной моделью зависимости от  $T_{\text{атм}}$ . На рис. 3, *г* показано распределение значений САД волонтера 19, которые наблюдались при низких ( $T_{\text{атм}} < -5$  °С, САД<sub>ср</sub> = 116.5±0.8 мм рт. ст.) и высоких ( $T_{\text{атм}} > 10$  °С, САД = 108.4±1.0 мм рт. ст.) температурах воздуха. Видно, что оба распределения симметричны (удовлетворяют нормальному распределению) и сдвинуты друг относительно друга. Таким образом, величина  $\Delta$ САД (разность средних значений САД, наблюдаемых при  $T_{\text{атм}} < -5$  °С и при  $T_{\text{атм}} > 10$  °С) для волонтера 19 составляет:

$$\Delta \text{САД} = \text{САД}_{\text{ср}(T_{\text{атм}} < -5 \text{ °С})} - \text{САД}_{\text{ср}(T_{\text{атм}} > 10 \text{ °С})} = 116.5 - 108.4 = 8.1 \text{ (мм рт. ст.)}$$

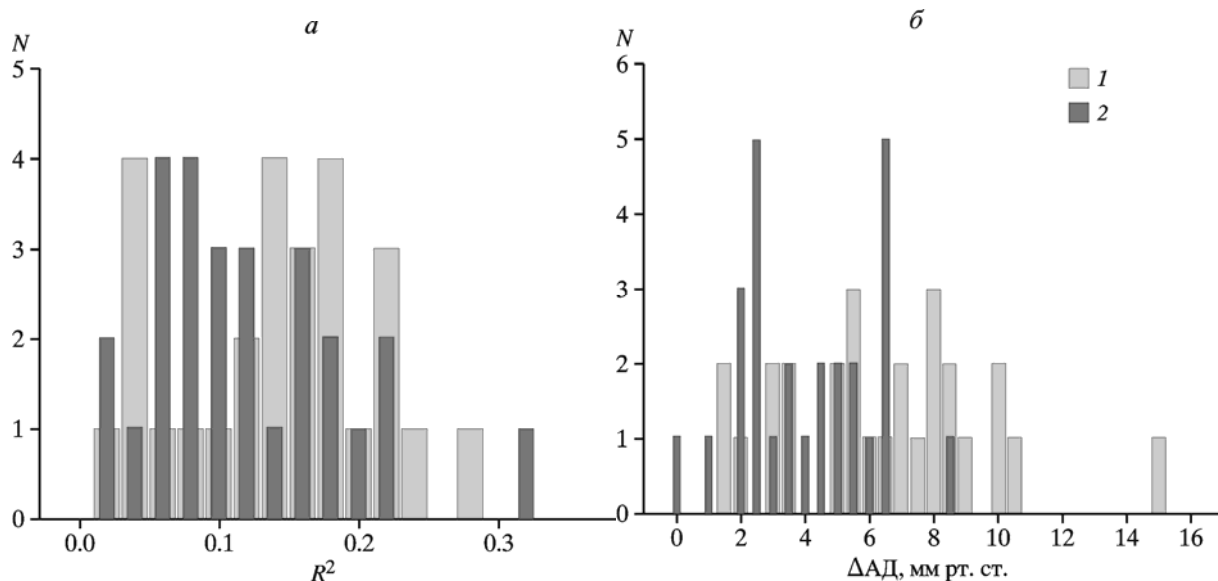
Аналогично алгоритму, показанному на рис. 3, были проанализированы данные всех 27 волонтеров. Значения  $K_s$  для САД и ДАД с  $T_{\text{атм}}$  приведены в табл. 3. На рис. 4, *а* показаны распределения значений коэффициентов детерминации  $R^2$ , характеризующих величину объясненной дисперсии вариаций АД для всех 27 волонтеров (включая и тех, для кого коэффициенты парной корреляции АД- $T_{\text{атм}}$  оказались с низким уровнем значимости). Поскольку в данном случае выборочные распределения не всегда удовлетворяли критерию нормальности, результаты приведены в виде «медиана (0.25–0.75)».

Распределения статистических характеристик для показателей САД и ДАД не различаются между собой согласно критерию Вилкоксона. Так, значения  $R^2(\text{САД}) = 0.136$  (0.078–0.173);  $R^2(\text{ДАД}) = 0.097$  (0.053–0.149). От них значимо ( $p < 0.10^{-3}$ ) отличаются распределения значений  $R^2$  для ЧСС (0.036 (0.014–0.0156)), УО (0.028 (0.019–0.068)), МОК (0.038 (0.014–0.051)). Таким образом, гипотеза влияния атмосферной температуры на параметры гемодинамики в данной группе волонтеров описывает в среднем 14 % вариаций САД, 10 % ДАД и ~3–4 % для ЧСС, УО и МОК.





**Рис. 3.** Зависимость уровня САД для волонтера 19 (женщина 49 лет) от вариаций атмосферной температуры  $a$  – временная динамика синхронных значений САД (1) и  $T_{\text{атм}}$  (2);  $б$  – значения комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  при различных временных сдвигах между временными рядами САД и  $T_{\text{атм}}$  (1 – исходные временные ряды; 2 – временные ряды после применения к ряду  $T_{\text{атм}}$  низкочастотного фильтра для исключения сезонных трендов. Пунктир – границы 5 %-ного уровня значимости ( $|K_s| = 1.3$ );  $в$  – scattergramma значений САД от  $T_{\text{атм}}$ . Показана линия регрессии полиномом 4-й степени ( $R^2 = 0.218$ );  $z$  – выборочные распределения значений САД, наблюдавшихся при  $T_{\text{атм}} > 10^\circ\text{C}$  (1) и  $T_{\text{атм}} < -5^\circ\text{C}$  (2)



**Рис. 4.** Распределение значений коэффициентов детерминации  $R^2$  (а) и величин  $\Delta\text{АД}$  (б), полученных для всех (27) волонтеров за период наблюдений   
 1 – САД; 2 –  $\Delta\text{АД}$ . Остальные пояснения см. в тексте

Распределение средних значений  $\Delta AD$ , т.е. систематических сдвигов среднего значения показателей АД, обусловленных вкладом  $T_{атм}$ , показано на рис 4, б. Выборочные распределения значений САД (6.80 (4.66–8.45)) и ДАД (4.33 (2.60–5.97)) различаются согласно критерию Вилкоксона на уровне значимости  $p = 0.0035$ . Другими словами, для волонтеров данной группы систематические сезонные изменения уровня САД составляют 4–9 мм рт. ст., а ДАД – от 2.5 до 6 мм рт. ст.

В обследованной группе волонтеров наблюдается хорошо известная в литературе выраженная зависимость средних значений САД и ДАД от возраста. В то же время все перечисленные выше статистические характеристики, характеризующие индивидуальную степень метеочувствительности ( $K_s$ ,  $R^2$ ,  $\Delta AD$ ), показывают слабую тенденцию к росту с увеличением возраста и среднего уровня АД испытуемого, которая, однако, не достигает 5%-ного уровня статистической значимости. Аналогичные выводы об отсутствии статистически значимой зависимости между степенью метео- и магниточувствительности человека и характеристиками возраста и среднего уровня АД были получены нами ранее для других групп волонтеров [Зенченко и др., 2007, 2009б].

Значения комбинированных коэффициентов тесноты связи  $K_s$  всех показателей гемодинамики всех (27) волонтеров с  $K_p$ -индексами приведены в табл. 4. Видно, что статистически значимые корреляции составляют для АД 48 % случаев, причем практически все они (за исключением одного) имеют положительный знак, т.е. у половины обследованной группы уровень АД значимо возрастает при повышении уровня ГМА.

**Таблица 4.** Величины комбинированного коэффициента тесноты связи  $K_s$  между пятью показателями гемодинамики всех (27) волонтеров и  $K_p$ -индексом

Номер волонтера	САД	ДАД	ЧСС	УО	МОК
1	0.19	0.44	<b>1.85</b>	-0.13	<b>1.47</b>
2	<b>1.63</b>	0.00	-0.62	-0.16	-0.42
3	1.16	0.54	0.09	<b>-1.40</b>	<b>-2.25</b>
4	-0.22	-0.03	-0.10	-0.02	-0.17
5	0.81	0.15	0.32	<b>1.51</b>	0.40
6	-0.30	-0.03	-0.15	-0.65	-0.37
7	<b>1.94</b>	-0.14	-1.07	<b>1.77</b>	-0.58
8	<b>1.36</b>	<b>1.33</b>	0.94	0.03	0.87
9	<b>-2.00</b>	<b>-3.51</b>	-0.38	-0.18	-0.19
10	<b>2.12</b>	<b>3.46</b>	<b>2.23</b>	<b>1.97</b>	<b>3.01</b>
11	1.28	<b>2.24</b>	0.23	-0.06	0.16
12	<b>2.42</b>	<b>2.04</b>	1.08	<b>1.62</b>	<b>1.68</b>
13	0.48	0.62	0.58	0.00	0.69
14	0.89	0.10	<b>2.57</b>	0.86	<b>2.02</b>
15	0.14	-0.10	0.67	1.26	0.77
16	<b>1.34</b>	<b>1.96</b>	<b>1.58</b>	0.35	<b>1.90</b>
17	0.12	<b>1.52</b>	-0.25	<b>-1.86</b>	-0.08
18	<b>2.68</b>	<b>3.71</b>	-0.27	-0.22	-0.44
19	<b>2.26</b>	<b>1.49</b>	-0.37	0.36	-0.27
21	-0.05	-0.13	<b>-2.62</b>	0.34	<b>-2.45</b>
22	<b>2.75</b>	0.26	<b>1.46</b>	<b>2.38</b>	<b>2.05</b>
24	-0.20	0.42	<b>-1.95</b>	-1.03	<b>-2.66</b>
26	<b>3.42</b>	<b>1.96</b>	-0.09	<b>2.60</b>	0.83
32	<b>1.85</b>	<b>1.31</b>	-0.28	0.42	-0.10
33	0.19	0.71	<b>-1.73</b>	-0.31	<b>-2.48</b>
34	<b>3.98</b>	<b>2.67</b>	<b>1.34</b>	-0.31	1.06
35	0.13	<b>3.70</b>	0.25	<b>-2.01</b>	-0.09

## Обсуждение

Обобщая результаты всех примененных видов статистического анализа (корреляционный, регрессионный и дисперсионный), можно сказать, что полученные с их помощью выводы хорошо согласуются друг с другом. Так, в условиях северных широт из всех изученных в данной работе показателей гемодинамики группы волонтеров наиболее чувствительным и к вариациям атмосферной температуры оказываются показатели САД. Для них характерны 85 % случаев значимой корреляции с  $T_{\text{атм}}$ ; в среднем 14 % дисперсии, объясненных зависимостью от  $T_{\text{атм}}$ , и систематическое сезонное изменение средних значений на 4–9 мм рт. ст. Для показателей ДАД в среднем по группе полученные характеристики несколько ниже, чем для САД: 77 % случаев значимой корреляции, 10% – объясненной дисперсии и 3–6 мм рт. ст. систематического сезонного сдвига, однако статистические критерии показывают, что эти различия недостоверны. Для показателей ЧСС, УО и МОК все перечисленные характеристики в среднем по данной группе волонтеров примерно в 2 раза ниже.

Ранее в наших работах аналогичный анализ был проведен для нескольких независимых групп испытуемых, жителей Москвы [Зенченко и др., 2007, 2009а, б, 2011а; Бреус и др., 2010], Сыктывкара [Зенченко и др., 2011в, 2012; Марков и др., 2013] и Симферополя [Зенченко и др., 2008; Breus et al., 2014]. Было показано, что из всех проанализированных метеофакторов именно вариации атмосферной температуры и тесно связанные с ними изменения парциального содержания кислорода в воздухе оказывают наибольшее влияние на изменения уровня АД. В работе [Зенченко и др., 2009а] в результате специальных экспериментов было показано, что статистическая связь показателей АД наблюдается именно со значениями температуры на улице, в то время как показатели периферического кровотока зависели от температуры в комнате.

В работе [Зенченко и др., 2013] на основании результатов длительных многолетних индивидуальных наблюдений группы волонтеров описаны два типа реакции показателей АД и ЧСС на вариации температуры:

- 1) монотонное (но неравномерное по скорости) снижение уровня САД с ростом температуры при более слабой реакции ДАД и отсутствии реакции ЧСС. Наиболее сильно зависимость САД от  $T_{\text{атм}}$  проявлялась в диапазонах  $T < -5$  °С и  $T > 15$  °С;
- 2) двухфазное поведение, которое совпадает с первым типом реакции в диапазоне низких ( $T < -5$  °С) температур и характеризуется положительной корреляцией САД, ДАД и ЧСС с  $T_{\text{атм}}$  при  $T > -5$  °С.

Обнаруженные типы реакций были получены для жителей средних широт (г. Москва). Эти зависимости помогли объяснить множество отдельных полученных ранее результатов, в том числе казавшуюся парадоксальной смену знака реакции показателей АД у жителей Москвы в разные годы наблюдений [Зенченко и др., 2011в].

В настоящей работе впервые проанализированы столь длительные временные ряды наблюдений, проведенные у жителей северных широт. Полученные выводы хорошо согласуются с описанными в ранних работах на других группах волонтеров. Однако важной специфической особенностью реакции, наблюдаемой у жителей Севера, можно считать, по-видимому, существование только одного из двух обнаруженных ранее типов реакции, при котором уровень АД отрицательно коррелирует с  $T_{\text{атм}}$  во всем доступном диапазоне температур. Как видно из данных, приведенных на рис. 3, в, даже точки перегиба функции регрессии САД( $T_{\text{атм}}$ ) примерно совпадают с теми, что были обнаружены ранее при длительных измерениях жителей Москвы ( $-5$  °С и  $+15$  °С).

Для четверых жителей г. Сыктывкар также была показана значимая отрицательная корреляция показателей АД от  $T_{\text{атм}}$ , однако эти наблюдения относились только к зимним месяцам [Зенченко и др., 2011в]. В то же время у жителей г. Симферополь многократно обнаружен второй тип реакции на температуру, связанный, по-видимому, с развитием гипоксии при повышении температуры воздуха [Зенченко и др., 2008]. Обобщая результаты всех проведенных исследований, можно высказать предположение, что первый тип реакции показателей АД на изменение температуры характерен преимущественно для здоровых жителей северных широт, второй тип – для здоровых жителей южных широт. В средних же широтах в зависимости от средних характеристик погоды в разных пропорциях могут наблюдаться оба типа реакции. Данная гипотеза, естественно, требует проверки на значительно большем количестве испытуемых.

Детальный анализ показывает, что для показателя УО (который прямо пропорционален разности между САД и ДАД) значимая корреляционная связь с вариациями  $T_{\text{атм}}$  наблюдается у тех волонтеров, для которых зависимость одного из двух показателей АД от температуры выражена значительно сильнее, чем другого (см. табл. 3). Так, например, у волонтеров 1, 2, 3, 10, 11, 14, 18 величины  $K_s$  для зависимости САД и ДАД от  $T_{\text{атм}}$  имеют близкие значения, и для этих волонтеров показатель УО не показывает статистической связи с  $T_{\text{атм}}$ . Для волонтеров 5, 16, 21, 22, 26 значения  $K_s$  (САД– $T_{\text{атм}}$ ) намного выше, чем аналогичный показатель для ДАД, и в этих случаях корреляция УО и  $T_{\text{атм}}$  статистически значима и имеет отрицательный знак. Для волонтеров 17, 33 и 35 зависимость ДАД от  $T_{\text{атм}}$  сильнее, чем САД, и для них корреляция между УО и  $T_{\text{атм}}$  имеет положительный знак.

Аналогичный анализ случаев чувствительности МОК (см. табл. 3) показывает, что эти случаи совпадают со случаями чувствительности к внешним факторам показателя ЧСС, с которым МОК связан прямо пропорционально. Таким образом, имеются достаточные основания утверждать, что наблюдаемая статистическая зависимость показателей УО и МОК от внешних факторов и в первую очередь от атмосферной температуры и парциального содержания кислорода отражает не только физиологическую реакцию определенных систем организма, а в значительной степени является следствием математической зависимости этих показателей от значений САД и ДАД.

Зависимость показателей АД от индексов ГМА (см. табл. 4) обнаружена в 48 % случаев, причем практически во всех (за исключением одного) корреляция положительная. Данный результат и по знаку реакции, и по проценту случаев магниточувствительности хорошо согласуется с полученным нами ранее результатом для группы жителей г. София (Болгария) [Зенченко и др., 2009], исследование которых проводилось в сходных геомагнитных условиях. Сравнение числа значимых корреляций показателей АД с  $K_p$ - и  $A_p$ -индексами показывает, что использование этих двух индексов ГМА равнозначно в рамках поставленной нами задачи по оценке уровня магниточувствительности показателей АД и ЧСС.

Таким образом, проведенный анализ позволил оценить индивидуальные характеристики реакций параметров гемодинамики на внешние факторы у группы практически здоровых жителей северных широт – знак реакции, время ее развития, частоту встречаемости метеочувствительности, размах сезонных вариаций. Однако не меньший интерес полученные результаты представляют в сопоставлении с аналогичными локальными выводами, сделанными для рядов наблюдений в других климатических и геомагнитных условиях. Показано, что вновь полученные результаты хорошо согласуются с выявленными ранее, дополняя и расширяя уже известную пространственно-временную картину реакции организма человека на вариации внешних факторов.

## Заключение

Результаты оценки индивидуальной чувствительности показателей гемодинамики у 27 женщин разного возраста, постоянных жителей г. Сыктывкар, к влиянию метеорологических и геомагнитных факторов показали, что:

– внешними факторами, в наибольшей степени влияющими на изменения показателей гемодинамики, являются атмосферная температура и уровень геомагнитной активности;

– систолическое и диастолическое артериальное давление из всех гемодинамических показателей наиболее зависимы от метеорологических и геомагнитных факторов. Их чувствительность к вариациям атмосферной температуры (и связанного с ним парциальным содержанием кислорода в воздухе), а также к уровню геомагнитной активности в среднем в 2 раза выше, чем для показателей пульса, ударного объема и минутного объема крови;

– в отличие от жителей средних и южных широт в данной группе волонтеров наблюдается только один тип реакции показателей артериального давления на изменения атмосферной температуры, характерный для 85 % испытуемых, а именно: нелинейное снижение показателей уровня артериального давления по мере повышения температуры воздуха;

– статистическая зависимость ударного и минутного объемов кровообращения от внешних факторов (в первую очередь атмосферной температуры и парциального содержания кислорода) отражает не только физиологическую реакцию определенных систем организма, а является в значительной мере следствием математической зависимости этих показателей от значений артериального давления;

– в данной группе волонтеров индивидуальные величины сезонных изменений показателей АД составляют 4–9 мм рт. ст. в случае систолического артериального давления и 3–6 мм рт. ст. в случае диастолического артериального давления;

– у половины обследованных волонтеров уровень артериального давления значимо возрастает с ростом геомагнитной активности.

Полученные в настоящей работе оценки характеристик метео- и магниточувствительности у жителей северных широт хорошо согласуются с результатами, полученными нами ранее для жителей других климатических зон и в других геомагнитных условиях, логично дополняя и расширяя общую пространственно-временную картину реакций организма человека на действие внешних факторов.

Информация о численных характеристиках реакции основных гемодинамических показателей на изменение внешних факторов и детальное понимание механизмов таких индивидуальных реакций важны как в практическом плане, так и в теоретическом. В практическом плане эта информация необходима для обоснованной оценки персонального риска развития сердечно-сосудистых катастроф, обусловленных вариациями внешних факторов, а в научном плане – как платформа для предметного исследования характеристик реакции организма на действие факторов космической погоды. Так как одним из важных звеньев развития реакции организма человека на магнитные бури в настоящее время считается процесс активации симпатического звена вегетативной нервной системы, можно утверждать, что на действие факторов космической и земной погоды отвечают одни и те же системы организма. И реакция организма на действие магнитной бури может быть в значительной мере обусловлена его текущим состоянием, определяемым степенью активации регуляторных механизмов.

## Благодарности

Работа поддержана грантом Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» и грантом РФФИ № 14-07-00757.

## Литература

- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П.* Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
- Агаджанян Н.А., Петрова П.Г.* Человек в условиях Севера. М.: КРУК, 1996. 208 с.
- Агулова Л.П.* Принципы адаптации биологических систем к космогеофизическим факторам // Биофизика. 1998. Т. 43, № 4. С. 571–574.
- Алабовский Ю.И., Бабенко А.Н.* Смертность от сосудистых заболеваний головного мозга в годы с различным уровнем магнитной активности // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971. С. 189–191.
- Андропова Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П.* Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, 1982. 247 с.
- Андрущенко А.А., Катюхин В.Н., Кострюкова Н.К., Прокопьев М.Н.* Повышенная гелиогеомагнитная активность как фактор риска артериальной гипертензии у жителей Севера // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. XIV, № 1. С. 65–67.
- Ассман Д.* Чувствительность человека к погоде. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 245 с.
- Белишева Н.К., Попов А.Н., Петухова Н.В. и др.* Качественная и количественная оценка воздействия вариаций геомагнитного поля на функциональное состояние мозга человека // Биофизика. 1995. Вып. 5. С. 1005–1012.
- Бойко Е.Р.* Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
- Бреус Т.К.* Влияние солнечной активности на биологические объекты: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 2003. 248 с.
- Бреус Т.К., Гурфинкель Ю.И., Зенченко Т.А., Ожередов В.А.* Сравнительный анализ чувствительности различных показателей сосудистого тонуса к метеорологическим и геомагнитным факторам // Геофизические процессы и биосфера. 2010. Т. 9, № 2. С. 23–36.
- Варламова Н.Г.* Артериальное давление у мужчин и женщин Севера // Изв. Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 4 (8). С. 52–55.
- Виллорези Дж., Бреус Т.К., Дорман Л.И., Ючи Н., Рапопорт С.И.* Влияние межпланетных и геомагнитных возмущений на возрастание числа клинически тяжелых медицинских патологий (инфарктов миокарда и инсультов) // Биофизика. 1995. Т. 40, № 5. С. 983–994.
- Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А.* Влияние солнечной активности на биосферу–ноосферу / Под ред. Л.А. Блюменфельда, Н.Н. Моисеева. М.: Изд-во МИЭПУ, 2000. 374 с.
- Власов Ю.А., Окунева Г.Н.* Кровообращение и газообмен человека. Новосибирск: Наука, 1983. 208 с.
- Гидродинамика кровообращения / Сб. пер. под ред. С.А. Регирера. М.: Мир, 1971. 271 с.
- Гневыхов М.И., Новикова К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В.* Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971. С. 179–187.
- Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А.* Новоселы на Европейском Севере: Физиолого-гигиенические аспекты. Архангельск: Изд-во Сев. гос. мед. ун-та, 2012. 285 с.
- Гурфинкель Ю.И.* Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность. М., 2004. 170 с.

- Гурфинкель Ю.И., Каце Н.В., Парфенова Л.М., Иванова И.Ю., Орлов В.А. Сравнительное исследование скорости распространения пульсовой волны и эндотелиальной функции у здоровых и пациентов с сердечно-сосудистой патологией // Рос. кардиол. журн. 2009. № 2. С. 38–43.
- Деряпа Н.Р., Рябинин И.Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. Л.: Медицина, 1977. 218 с.
- Джанашия П.Х., Потешкина Н.Г., Селиванова Г.Б. Артериальная гипертензия. М.: Миклош, 2007. 168 с.
- Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 257 с.
- Зенченко Т.А. Метод последовательных приближений в задаче исследования механизма индивидуальных гелиометеотропных реакций // Сб. материалов Междунар. конф. «Влияние космической погоды на здоровье человека в космосе и на Земле», г. Москва, 4–7 июня 2012 г. М., 2012. С. 633–648. Режим доступа: <http://www.iki.rssi.ru/books/2013breus2.pdf>
- Зенченко Т.А., Цагарешвили Е.В., Ощепкова Е.В., Рогоза А.Н., Бреус Т.К. К вопросам влияния геомагнитной и метеорологической активности на больных артериальной гипертензией // Клиническая медицина. 2007. № 1. С. 31–35.
- Зенченко Т.А., Цандеков П.А., Григорьев П.Е., Мёрзлый А.М., Зенченко К.И., Хорсева Н.И., Григал П.П. Исследование характера связей физиологических и психофизиологических показателей организма с метеорологическими и геомагнитными факторами // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 3. С. 25–36.
- Зенченко Т.А., Рехтина А.Г., Хорсева Н.И., Заславская Р.М., Бреус Т.К. Сравнительный анализ чувствительности различных показателей гемодинамики здоровых людей к действию атмосферных факторов в условиях средних широт // Геофизические процессы и биосфера. 2009а. Т. 8, № 4. С. 61–76.
- Зенченко Т.А., Димитрова С., Стоилова И., Бреус Т.К. Индивидуальные типы реакций артериального давления практически здоровых людей на действие геомагнитной активности // Клиническая медицина. 2009б. № 4. С. 18–23.
- Зенченко Т.А., Поскотинова Л.В., Рехтина А.Г., Заславская Р.М. Связь параметров колебаний кровотока в микроциркуляторном русле с геомагнитными пульсациями P<sub>c3</sub> // Биофизика. 2010. Т. 55, № 4. С. 732–739.
- Зенченко Т.А., Рехтина А.Г., Поскотинова Л.В., Заславская Р.М., Гончаров Л.Ф. Сравнительный анализ реакции показателей микроциркуляции и артериального давления здоровых людей на действие геомагнитной активности // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 2011а. Т. 152, № 10. С. 379–383.
- Зенченко Т.А., Мёрзлый А.М., Хорсева Н.И. Сравнительный анализ индивидуальной чувствительности показателей variability сердечного ритма и артериального давления здоровых волонтеров к метеорологическим и геомагнитным факторам // Материалы V Всерос. симп. с междунар. участием «Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение», г. Ижевск, 26–28 октября 2011 г. Ижевск, 2011б. С. 413–416.
- Зенченко Т.А., Мёрзлый А.М., Солонин Ю.Г. Сравнение случаев индивидуальной метеочувствительности человека в экстремальных условиях зимы северных и средних широт // Экология человека. 2011в. № 11. С. 3–13.
- Зенченко Т.А., Солонин Ю.Г., Мёрзлый А.М. Оценка индивидуальной чувствительности организма человека к действию атмосферных факторов 279–284 // Адаптация человека к эко-

- логическим и социальным условиям Севера / Отв. ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар; Екатеринбург: Ин-т физиологии Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 279–284.
- Зенченко Т.А., Скавуляк А.Н., Хорсева Н.И., Бреус Т.К.* Характеристики индивидуальных реакций сердечно-сосудистой системы здоровых людей на изменение метеорологических факторов в широком диапазоне температур // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 1. С. 22–43.
- Марков А.Л., Зенченко Т.А., Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р.* Чувствительность к атмосферным и геомагнитным факторам функциональных показателей организма здоровых мужчин – жителей Севера России // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2013. Т. 47, № 2. С. 29–32.
- Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У.* Механика кровообращения. Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 624 с.
- Никберг И.И., Ревуцкий Е.Л., Сакали Л.И.* Гелиометеотропные реакции человека. Киев, Здоров'я, 1986. 144 с.
- Пастухов Ю.Ф., Коваленко Я.Р.* Адаптация к холоду и условиям Субарктики: Проблемы термифизиологии. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1983. Т. 1. 373 с.
- Поскотинова Л.В., Григорьев П.Е.* Зависимость типологических особенностей вегетативных реакций здоровых лиц от фоновых показателей // Экология человека. 2008. № 5. С. 3–8.
- Солонин Ю.Г., Черникова А.Г., Марков А.Л., Варламова Н.Г., Бойко Е.Р.* Годовая динамика показателей variability сердечного ритма у участников северной группы проекта «Марс-500» при длительном мониторинге // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2013. Т. 47, № 4. С. 141–142.
- Халберг Ф., Шварцкопфф О.* Использование мониторинга состояния сосудистой системы человека для решения задач физики, универсальной персонализированной и общественной медицинской помощи, учитывающей космическую погоду процессов // Наука и технологические разработки. 2010. Т. 89, № 1. С. 13–37.
- Халберг Ф., Корнелиссен Ж., Бити Л.А., Отсука К., Ватанабе И., Содерн Р.Б., Кейтинас Г.С., Чаплицки Д., Санчез де ла пена С.С., Улмер В., Ревилла М., Земан М., Шварцкопфф О., Сингх Р.Б.* Совпадение циркасептантных ритмов биосферных и гелиогеофизических процессов // Наука и технологические разработки. 2014. Т. 93, № 2. С. 3–31.
- Шеповальников В.Н., Сороко С.И.* Метеочувствительность человека / Отв. ред. В.А. Яковлев. Бишкек: Илим, 1992. 247 с
- Breus T.K., Zenchenko T.A., Grigoriev P.E.* Space weather factors and the characteristics of the response by the cardiovascular system of healthy young people // 11th European Space Weather Week, November 17–21 2014, Liege, Belgium. Liege, 2014.
- Gurfinkel Yu., Breus T., Zenchenko T., Ozheredov V.* Investigation of the effect of ambient temperature and geomagnetic activity on the vascular parameters of healthy volunteers // Open J. of Biophys. 2012. N 2. P. 46–55. doi:10.4236/ojbiphy.2012.22007. Publ. Online April 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ojbiphy>).
- Stoupel E.* Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters // J. of Clinic. and Basic Cardiol. 1999. N 2. P. 34–40.
- Stoupel E., Abramson J., Domarkiene S., Shimshoni M., Sulkes J.* Space proton flux and the temporal distribution of cardiovascular deaths // Intern. J. of Biometeorology. 1997. V. 40, N 2. P. 113–116.
- Stoupel E., Assali A., Teplitzky I., Vaknin-Assa H., Abramson E., Israelevich P., Kornowski R.* Physical influences on right ventricular infarction and cardiogenic shock in acute myocardial infarction // J. Basic Clinic. Physiol. Pharmacol. 2009. V. 20, N 1. P. 81–87.
- Stoupel E., Birk E., Kogan A., Klinger G., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., Linder N.* Congenital heart disease: Correlation with fluctuations in cosmophysical activity, 1995–2005 // Intern. J. Cardiol. 2008. V. 135, N 2. P. 207–210.



*Сведения об авторах*

**ЗЕНЧЕНКО Татьяна Александровна** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН. 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3; старший научный сотрудник, Институт космических исследований РАН. 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. Тел.: +7 (910) 455-78-44. E-mail: zench@mail.ru

**ВАРЛАМОВА Нина Геннадьевна** – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50. Тел.: +7 (912) 568-55-61. E-mail: nivarlam@physiol.komisc.ru

## HEMODYNAMIC RESPONSE CHARACTERISTICS OF HEALTHY PEOPLE TO CHANGES IN METEOROLOGICAL AND GEOMAGNETIC FACTORS IN THE NORTH

T.A. Zenchenko<sup>1,2</sup>, N.G. Varlamova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino, Moscow Region, Russia

<sup>2</sup> Institute of Space Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Institute of Physiology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Syktyvkar, Russia

**Abstract.** The estimation of influence of variations in meteorological and geomagnetic factors on hemodynamic parameters (HP) 27 healthy volunteers, residents of Syktyvkar has been conducted (daily monitoring of blood pressure (BP) and heart rate (HR), stroke and cardiac output during from December 2003 till December 2004). It is shown that temperature variations and geomagnetic activity level (GMA) give the greatest impact in HP changes (85 % and 48 % cases respectively). BP level increases with decreasing temperature and with increasing levels of GMA. The sensitivity of systolic and diastolic blood pressure to the meteorological and geomagnetic factors are approximately twice higher than the sensitivity to him the others PGs. In this group of volunteers individual values of seasonal changes in BP are 4–9 mm Hg in the case of systolic blood pressure and 3–6 mm Hg in the case of diastolic blood pressure. The results obtained in this paper, performance evaluation of meteorological and magnetic sensitivity among residents of northern latitudes are in good agreement with the results obtained earlier for other climatic zones and geomagnetic conditions, logically complementing and enhancing overall space-time picture of the reactions of the human body to the action of external factors.

*Keywords:* blood pressure, hemodynamic parameters, individual meteosensitivity, geomagnetic activity, the North.