

## ОСОБЕННОСТИ ОТВЕТНОЙ РЕАКЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ГЕОМАГНИТНУЮ ВОЗМУЩЕННОСТЬ НА РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ

© 2020 г. С.С. Паршина\*, С.Н. Самсонов\*\*, Т.Н. Афанасьева\*, П.Г. Петрова\*\*\*, А.А. Стрекаловская\*\*\*, В.Д. Петрова\*, А.И. Кодочигова\*, К.В. Комзин\*\*\*, Л.К. Токаева\*

\*Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, 112

\*\*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера Якутского научного центра СО РАН, 677980, Якутск, просп. Ленина, 31

\*\*\*Медицинский институт Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Ойунского, 27

E-mail: [1parshinasvetlana@mail.ru](mailto:1parshinasvetlana@mail.ru)

Поступила в редакцию 09.12.2019 г.

После доработки 13.05.2020 г.

Принята к публикации 20.08.2020 г.

Описаны принципы проведения многоширотного мониторинга «Гелиомед-2» для получения новых данных о влиянии космической погоды на состояние здоровья человека. Представлены результаты синхронного мониторинга по оценке реакции сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния здоровых добровольцев на изменение геомагнитной возмущенности в высоких (пос. Тикси, г. Якутск) и средних (г. Саратов) широтах. Во всех обследуемых группах выявлено наличие эффекта синхронизации процессов реполяризации миокарда желудочков (по данным коэффициента симметрии зубца Т электрокардиограммы) и геомагнитной возмущенности, а также синхронизации реактивной тревожности и геомагнитной возмущенности. Установлено, что в одной и той же группе добровольцев групповая кардиочувствительность и психологическая чувствительность к геомагнитным возмущениям совпадают независимо от широты проживания.

*Ключевые слова:* космическая погода, сердечно-сосудистая система, тревожность.

DOI: 10.31857/S0006302920060162

Выяснение взаимосвязи между активностью Солнца и здоровьем человека является одной из фундаментальных проблем современной науки. Состояние здоровья человека зависит от изменения факторов внешней среды, например, метеорологических факторов и менее известных факторов космической погоды.

Термин «космическая погода» характеризует состояние околоземного космического пространства, основное влияние на которое оказывает Солнце. На явления, происходящие в биосфере Земли и связанные с солнечной активностью, одним из первых обратил внимание основоположник российской космической биологии профессор А.Л. Чижевский в 1915–1924 гг. [1]. Он

указывал, что «наше тело насквозь пронизывается электромагнитными излучениями и реагирует на них с величайшей чувствительностью». Геомагнитные возмущения, возникающие вследствие взаимодействия изменяющихся параметров солнечной активности с магнитосферой Земли, являются одним из природных факторов риска для здоровья человека. Они воздействуют на временную последовательность информационных сигналов, которые организм использует для согласования ритмики биологических процессов с ритмикой окружающей среды. У человека геомагнитные возмущения не вызывают специфических заболеваний, но из-за разбалансирования систем регуляции отягощают имеющиеся функциональные нарушения [2].

Под солнечной активностью понимается совокупность возникающих на Солнце образований: пятен, факелов, флоккул, протуберанцев, особых форм короны, вспышек, сопровождаю-

*Сокращения:* КСТ – коэффициент симметрии Т-зубца электрокардиограммы, ЭКГ – электрокардиограмма,  $K_p$  –  $K_p$ -индекс глобальной геомагнитной возмущенности, ГМВ – глобальная геомагнитная возмущенность, РТ – реактивная тревожность.

щихся усилениями интенсивности излучения в ультрафиолетовой, рентгеновской и радиоволновой частях спектра и появлением корпускулярной радиации — протонов, электронов и других частиц. Заряженные частицы, высыпавшиеся из хвоста магнитосферы в атмосферу, вызывают на Земле полярные сияния, геомагнитные бури, земные токи, неравномерную ионизацию верхних слоев атмосферы.

При этом генерируются электромагнитные колебания, которые, несмотря на их небольшую интенсивность по сравнению с теми, в которых находится человек в обычной жизни, весьма эффективны из-за близости их частот (герцы и их доли) к основным биологическим ритмам [3–5]. Хотя сами корпускулярные потоки до поверхности Земли не доходят, при их взаимодействии с магнитосферой Земли возникают электромагнитные поля, вызывающие геофизические возмущения в виде магнитных бурь и суббурь.

Раскрытие механизма влияния солнечной активности на процессы, происходящие в биосфере, является ключевой позицией не только для создания физической теории воздействия солнечной активности на биосистемы. Это также необходимо для разработки критериев адаптации и создания эффективных систем совершенствования здоровья, профилактики различных заболеваний и жизнеопасных осложнений [6]. Влияние космической погоды на здоровье человека определяется прежде всего электромагнитными излучениями Солнца и корпускулярными потоками солнечного ветра, воздействующими на магнитное поле, газовую оболочку и твердую кору Земли. Гелиогеофизические факторы — часть единого физического процесса, тесно связанного с солнечной активностью, который начинается на Солнце и заканчивается на Земле.

Основными мишенями для воздействия гелиогеофизических факторов на организм человека являются сердечно-сосудистая и нервная системы. Доказана связь возникновения острых сосудистых событий (инфарктов миокарда, инсультов) с колебаниями гелиогеомагнитного фона Земли [7–9]. Изменения напряженности магнитного поля на Земле в результате активных процессов на Солнце и в магнитосфере Земли [10] являются одним из важнейших факторов срыва адаптации и обострения хронических заболеваний. Проведенные в последние годы исследования по влиянию параметров космической погоды показали, что здоровый человек на Земле безболезненно может перенести такое воздействие. В то же время воздействие возмущенных гелиогеофизических параметров на человека с заболеваниями сердечно-сосудистой системы может при-

вести к серьезным осложнениям, вплоть до летального исхода [7, 11, 12].

При воздействии геомагнитных возмущений возникают аритмии, изменяется частота сердечных сокращений, происходят скачки артериального давления, увеличивается вязкость крови, агрегация эритроцитов, наблюдается замедление кровотока в капиллярах и происходит ряд других патологических сдвигов [6, 13–16].

Влияние фактора солнечной активности на организм человека сильно рассеяно (диспергировано) одновременным воздействием биосоциальных, производственных, психоэмоциональных и иных факторов, вот почему во многих случаях влияние солнечной активности, геомагнитных возмущений затушено, скрыто в сложных межсистемных, промежуточных соотношениях как физической, так и биологической природы. Например, разделить влияние космической погоды и метеорологических факторов достаточно сложно, что требует использования специальных методов исследования.

Одним из важнейших методологических принципов изучения влияния параметров космической погоды на сердечно-сосудистую систему человека является принцип многоширотного мониторинга состояния здоровья добровольцев, который был реализован в уникальном международном телекоммуникационном проекте «Гелиомед», осуществленном междисциплинарным коллективом физиков, биологов, специалистов по информационным технологиям и медиков [17].

Первый этап мониторинга «Гелиомед» проводился с 2006 по 2010 гг. одновременно в городах Москва (Россия), Якутск (Россия), Киев (Украина) и Симферополь (Украина), удаленных друг от друга на более чем 6000 км и находящихся в различных часовых поясах. В 2011–2013 гг. многоширотный мониторинг стал охватывать и авроральные широты (пос. Тикси), также мониторинг проводился в авроральном и субавроральном (Якутск) регионах. Состояние сердечно-сосудистой системы оценивали ежедневно по электрокардиографическим данным, получаемым с помощью экспресс-кардиографа «Фазаграф», позволяющего производить обработку ЭКГ в фазовом пространстве координат [18].

В результате проведения первого этапа многоширотного мониторинга «Гелиомед» были собраны данные, включающие более 50000 измерений. Сравнение прямых измерений состояния сердечно-сосудистой системы добровольцев на широкоразнесенных пунктах наблюдения в России и на Украине показало их совпадение; было установлено, что именно космофизические факторы

являются синхронизатором общих ритмов популяции [19].

С 2014 г. проводится второй этап многоширотного синхронного биофизического эксперимента — «Гелиомед-2», особенностями которого являются изменившаяся география исследования: (за счет добавления средних широт (Саратов) к арктическому (пос. Тикси) и субарктическому (Якутск) регионам), комплексный подход к одновременному синхронному мониторинговому изучению состояния сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния добровольцев по разработанным научной группой принципам [20], исследование генетических особенностей участников мониторинга — добровольцев разных широт [21].

С 2014 г. накоплено более 30000 комплексных измерений (каждое из которых включает характеристику состояния сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния). Это впервые позволяет проводить корректную статистическую обработку при оценке влияния факторов космической погоды не на какую-либо одну систему человеческого организма, а одновременно на две основные жизнеопределяющие системы функционирования — сердечно-сосудистую и нервную — у одной и той же группы добровольцев. При этом анализируются группы добровольцев, проживающих на разных широтах. Подобных экспериментальных многоширотных исследований в доступной нам литературе не обнаружено.

Цель работы: выявление особенностей индивидуальных и групповых реакций синхронизации показателей здоровья (процессов реполяризации миокарда желудочков и психоэмоционального состояния) добровольцев с геомагнитной возмущенностью в высоких (авроральных и субавроральных) и средних широтах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Синхронный мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния здоровых добровольцев осуществлялся одновременно в высоких и средних широтах. Группа добровольцев в высоких широтах (всего 44 человека) включала: в авроральных широтах (пос. Тикси) — 11 человек, в субавроральных (г. Якутск) — 33 человека. В средних широтах (г. Саратов) в мониторинге участвовал 31 человек.

Точки исследования удалены друг от друга на более чем 5000 км и на пять часовых поясов. Поселок Тикси расположен на берегу Северного Ледовитого океана (71° сев. шир.) и насчитывает всего 4537 жителей на 1 января 2018 г., в связи с чем группа добровольцев в данной точке мониторинга является самой малочисленной.

Длительность мониторинга составила 60 суток, ежедневные измерения в группах добровольцев проходили в весенний период (март—апрель) 2014 г. Весенний сезон является переходным, именно в это время происходят наиболее выраженные по количеству и амплитуде изменения геомагнитной возмущенности Земли, что позволяет проследить ответные реакции показателей сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния.

Состояние сердечно-сосудистой системы испытуемых оценивали ежедневно по данным электрокардиографии с определением коэффициента симметрии Т-зубца (КСТ, усл. ед.), отражающего процессы реполяризации миокарда желудочков, с помощью экспресс-кардиографа «Фазаграф» (ООО «Укрспецснаб», Запорожье, Украина), позволяющего проводить обработку электрокардиограмм (ЭКГ) в фазовом пространстве координат [18]. Настоящий метод исследования состояния миокарда хорошо зарекомендовал себя не только в скрининге ишемической болезни сердца, но и в оценке влияния параметров космической погоды, в частности солнечной активности, на морфологические параметры сердечной мышцы [22—25]. В норме значение КСТ составляет 0.45—0.70; при увеличении КСТ возрастают нарушения процессов реполяризации миокарда и возникает риск развития ишемических изменений.

Психоэмоциональное состояние оценивали в соответствии с методологическими принципами, изложенными в работе [20]: по показателям реактивной (ежедневный контроль) и личностной тревожности (опросник Ч. Спилбергера в модификации Ю. Ханина), особенностям построения стресс-преодолевающего поведения (опросник Э. Хайма) и определения типологии личности человека (проективный психометрический тест С. Делингер, адаптированный А. Алексеевым и М. Громовой).

Геомагнитную активность оценивали по показателю глобальной геомагнитной возмущенности ( $K_p$ -индексу) ежедневно в течение всего периода наблюдения.  $K_p$ -индекс (усл. ед.) отражает глобальную геомагнитную возмущенность (ГМВ) и отличается от других индексов космической погоды логарифмической шкалой измерения, поэтому лучше всего описывает слабые возмущения. А как было показано в работе [26], даже при слабой ГМВ наблюдается отклик в состоянии сердечно-сосудистой системы человека.

Оценивали индивидуальные и групповые эффекты синхронизации «КСТ— $K_p$ », а также «реактивная тревожность— $K_p$ » ( $PT-K_p$ ). Синхронизация показывает, насколько состояние миокарда и реактивная тревожность человека реагируют на

изменения геомагнитного поля Земли. Данный процесс характеризует адаптационные возможности миокарда и нервной системы при внешних стресс-воздействиях.

Индивидуальный эффект синхронизации для обследуемого (КСТ– $K_p$  и РТ– $K_p$ ) отражает совпадение между максимумами медицинского показателя (коэффициента симметрии Т-зубца ЭКГ или показателя «реактивная тревожность») и  $K_p$ -индекса геомагнитной возмущенности при анализе динамических рядов данных показателей для каждого добровольца в течение 60-суточного мониторингового наблюдения.

Поскольку мы оценивали два вида синхронизации – КСТ– $K_p$  и РТ– $K_p$ , возникла необходимость упорядочивания терминов, так как мы столкнулись с тем, что синхронизация КСТ– $K_p$  и синхронизация РТ– $K_p$  у каждого добровольца не всегда совпадали.

В связи с этим нами был введен термин «кардиочувствительность» к колебаниям ГМВ. Индивидуальная кардиочувствительность отражает синхронизацию КСТ– $K_p$  каждого обследуемого и выражается в процентах от общего количества максимумов  $K_p$  за время наблюдения. При индивидуальной кардиочувствительности более чем 66.7% считалось, что сердечно-сосудистая система добровольца чувствительна к изменениям ГМВ, и он зачислялся в группу «кардиочувствительных» своего региона. Далее определялся групповой эффект кардиочувствительности, который показывал количество кардиочувствительных добровольцев в процентном соотношении к общей численности группы.

Также нами был использован показатель «психологическая чувствительность» к ГМВ [27]. Индивидуальная психологическая чувствительность отражает синхронизацию РТ– $K_p$  каждого обследуемого и выражается в процентах от общего количества максимумов  $K_p$  за время наблюдения. При индивидуальной психологической чувствительности более чем 66.7% считали, что нервная система добровольца чувствительна к изменениям ГМВ, и он зачислялся в группу «психологически чувствительных» для своего региона. Далее определяли групповой эффект психологической чувствительности, который показывал количество психологически чувствительных к ГМВ добровольцев в процентном соотношении к общей численности группы.

Математическую обработку данных проводили оригинальным методом с помощью специально разработанного интерактивного программного комплекса на языке программирования Python для анализа и визуализации результатов исследования синхронизации параметров реполяриза-

ции миокарда желудочков с параметрами космической погоды, который позволяет осуществлять классификацию добровольцев [28]. Этот же метод использовали для оценки синхронизации реактивной тревожности и  $K_p$ -индекса. Для построения графиков и статистических расчетов использовали программы «Origin» и «Medstat» для сравнения показателей между группами – методы  $\chi^2$  и точный критерий Фишера.

Таким образом, алгоритм анализа полученных данных включал следующие этапы:

1. Построение индивидуальных графиков динамики КСТ и  $K_p$  для каждого добровольца за весь период мониторинга и оценка индивидуальной синхронизации КСТ– $K_p$  с помощью указанного программного комплекса.

2. По результатам оценки индивидуальной синхронизации включение в группу кардиочувствительных либо кардионечувствительных добровольцев.

3. Определение показателя группового эффекта кардиочувствительности для каждого региона (по процентному соотношению кардиочувствительных испытуемых к общей численности группы данного региона).

4. Построение группового графика синхронизации КСТ– $K_p$  всех кардиочувствительных добровольцев данного региона.

5. Оценка групповой синхронизации КСТ– $K_p$  для каждого региона (в процентах к общему количеству максимумов  $K_p$  за время мониторинга) с помощью указанного программного комплекса.

6. Сравнение групп добровольцев высоких и средних широт по показателям кардиочувствительности и групповой синхронизации.

7. Анализ особенностей групповой синхронизации КСТ– $K_p$  в различных регионах.

8. Анализ психологической чувствительности к ГМВ добровольцев различных регионов по аналогичному алгоритму.

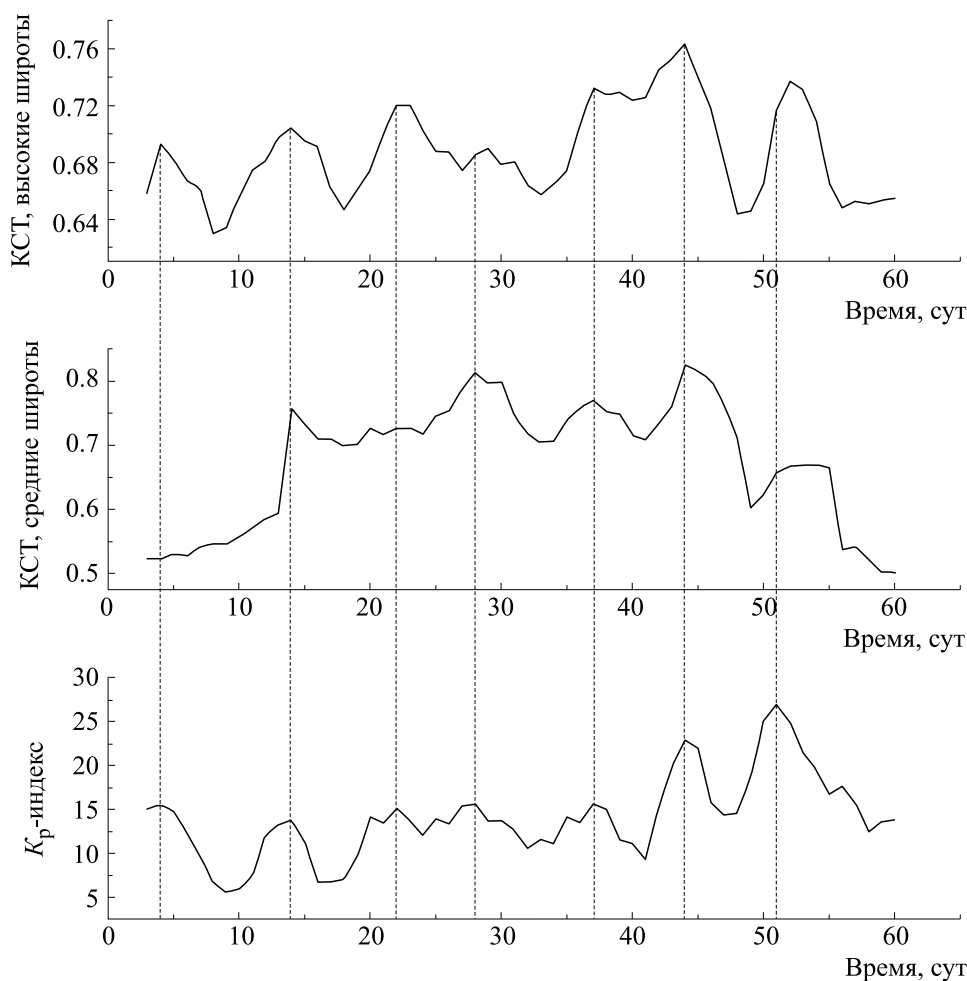
9. Оценка согласованности кардио- и психологической чувствительности к ГМВ между собой у добровольцев каждого региона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст добровольцев составил в высоких широтах  $38.6 \pm 5.7$  года, в средних широтах –  $40.6 \pm 2.2$  года ( $p > 0.05$ ).

В высоких широтах групповой эффект кардиочувствительности к ГМВ составил 38.6% (из 44 добровольцев синхронизацию КСТ– $K_p$  более чем в 66.7% показали 17 человек).

В средних широтах групповой эффект кардиочувствительности к ГМВ составил 42% (синхро-

Синхронизация КСТ– $K_p$  у кардиочувствительных добровольцев.

низация КСТ– $K_p$  более чем в 66.7% выявлена у 13 человек из 31 обследуемого).

Таким образом, по соотношению кардиочувствительных и кардиочувствительных добровольцев высокие и средние широты не отличаются (38.6% и 42%,  $p > 0.05$ ).

Для кардиочувствительных добровольцев (в высоких и средних широтах) были построены графики синхронизации КСТ– $K_p$  (рисунок). На рисунке представлены: верхний график – динамика КСТ в течение 60 суток мониторинга в группе добровольцев в высоких широтах, средний график – динамика КСТ в группе добровольцев в средних широтах, нижний график – динамика  $K_p$ -индекса за этот же период. Штриховые линии показывают максимумы  $K_p$ -индекса и соответствующие им значения КСТ в группах добровольцев в высоких и средних широтах.

Данные, представленные на рисунке, свидетельствуют, что из семи максимумов  $K_p$ -индекса

за время наблюдения добровольцы в высоких широтах отреагировали максимумом КСТ в этот же день в пяти случаях (на первый, второй, третий, пятый и шестой максимумы  $K_p$ -индекса), а на остальные два (четвертый и седьмой) – только с задержкой на одни-двое суток. В средних широтах максимумы КСТ возникали в ответ на второй, четвертый, пятый, шестой и седьмой максимумы  $K_p$ -индекса (также в пяти случаях из семи). Таким образом, у кардиочувствительных добровольцев как в высоких, так и в средних широтах групповая синхронизация КСТ– $K_p$  не отличалась и составила 71% как в одной, так и в другой группе.

При этом структура реакций КСТ– $K_p$  в группах высоких и средних широт отличалась. Только на 43% ГМВ добровольцы различных широт реагировали одинаково – максимумом КСТ в день ГМВ (второй, пятый и шестой максимумы ГМВ). В остальных случаях (57%) ГМВ вызывали реакцию сердечно-сосудистой системы в каком-то

одном регионе, а в другом регионе на те же ГМВ реакция не выявлена (первый, третий, четвертый и седьмой максимумы ГМВ). Так, в средних широтах добровольцы не показали синхронизации КСТ– $K_p$  в первом и третьем максимумах ГМВ, а в высоких широтах – в четвертом и седьмом максимумах ГМВ. Таким образом, несмотря на то, что групповая синхронизация КСТ– $K_p$  в высоких и средних широтах не отличается количественно (71%), внутри каждой группы имеются качественные отличия по реакции сердечно-сосудистой системы на одни и те же ГМВ.

Кроме того, в группе кардиочувствительных добровольцев в высоких широтах выявлен феномен «запаздывания» реакции КСТ на ГМВ на одни-двое суток (четвертый и седьмой максимумы ГМВ). При этом на те же ГМВ добровольцы средних широт реагировали увеличением КСТ без опоздания, в тот же день, демонстрируя синхронизацию данных показателей.

В обеих группах добровольцев нами была проанализирована также психологическая чувствительность к ГМВ. Установлено, что синхронизация с ГМВ наблюдается не только со стороны сердечно-сосудистой системы, но и со стороны психологического состояния добровольцев: их реактивная тревожность в динамике мониторинга также менялась в зависимости от геомагнитной активности.

После оценки индивидуальной психологической чувствительности по описанному алгоритму были сформированы группы психологически чувствительных добровольцев в каждом регионе. Для каждой группы определен групповой эффект психологической чувствительности к ГМВ.

В высоких широтах групповой эффект психологической чувствительности к ГМВ составил 34.1% (синхронизацию РТ– $K_p$  более чем в 66.7% показали 15 человек из 44 добровольцев). Поскольку в данной группе кардиочувствительность составила 38.6%, можно говорить о совпадении групповых эффектов кардио- и психологической чувствительности к ГМВ в высоких широтах ( $p > 0.05$ ).

В средних широтах групповой эффект психологической чувствительности к ГМВ составил 51.6% (синхронизация РТ– $K_p$  более чем в 66.7% обнаружена у 16 из 31 человек), особенности психоэмоционального статуса добровольцев мониторинга, в том числе и психологически чувствительных к ГМВ, были подробно описаны в работе [27]. Как было показано выше, в средних широтах кардиочувствительность составила 42%, следовательно, групповые эффекты кардио- и психологической чувствительности к ГМВ в средних широтах также совпадают ( $p > 0.05$ ).

Проведено сравнение психологической чувствительности к ГМВ по показателю РТ в группах высоких и средних широт. Статистически достоверное различие между группами выявлено не было ( $p > 0.05$ , метод  $\chi^2$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования свидетельствуют, что синхронизацию состояния сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального состояния с ГМВ демонстрируют добровольцы как в высоких, так и в средних широтах.

При этом не все добровольцы являются кардиочувствительными, некоторые демонстрируют реакцию сердечно-сосудистой системы на единичные геомагнитные возмущения за весь период мониторинга.

Показательно, что соотношение кардиочувствительных и кардионечувствительных добровольцев не зависит от места проживания, несмотря на то, что обследуемые регионы разнесены более чем на 5000 км. Таким образом, реакция миокарда на геомагнитные возмущения, характеризующаяся изменением процессов реполяризации миокарда желудочков и динамикой КСТ ЭКГ, относится к универсальным реакциям сердечно-сосудистой системы на изменение геомагнитной активности и свойственна организму человека независимо от региона проживания.

Известно, что именно изменение конечной части желудочкового комплекса, которое и отражает динамика КСТ в фазовом портрете ЭКГ, является первым признаком нарастания напряженности миокарда и появляющейся гипоксии и ишемии сердечной мышцы [18, 24]. Эти процессы всегда сопровождаются и активацией адапционно-компенсаторных механизмов, следовательно, геомагнитные возмущения у здоровых добровольцев выступают в роли «тренирующего фактора», позволяющего поддерживать приспособительные реакции в «рабочем состоянии».

Несмотря на совпадение групповой кардиочувствительности в высоких и средних широтах, нам удалось выявить отдельные региональные особенности кардиочувствительности у обследуемых добровольцев. Однотипно добровольцы в высоких и средних широтах реагируют только на 43% геомагнитных возмущений. Остальные 57% геомагнитных возмущений характеризуются «региональной чувствительностью» и могут у добровольцев различных регионов вообще не вызывать изменений со стороны миокарда, либо эти изменения могут быть «отсрочены» на одни-двое суток. Таким образом, биоэффективность отдельных ГМВ может быть различна для добровольцев в различных регионах проживания.

Данные настоящего исследования пока не позволяют определить причины таких различий. Возможно, это связано с тонкими характеристиками самих геомагнитных возмущений, потенциально влияющих на их биоэффективность. Например, одно и то же ГМВ может реализовывать свою биоэффективность с участием пульсаций  $Pc1$  в средних широтах либо с участием пульсаций  $Pi1$  в высоких широтах. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости определения региональных характеристик биоэффективности геомагнитных возмущений для дальнейшего использования в превентивной кардиологии.

Вместе с тем нельзя исключить, что выявленные особенности определяются не характеристиками геомагнитных возмущений, а особенностями самих добровольцев, которые могут быть связаны с различным вкладом полиморфизмов генов, вовлеченных в регуляцию сердечно-сосудистой системы (в частности, генов  $CYP11B2$ ,  $GNB3$ ,  $NOS3$  и др.). Учитывая такую возможность, в настоящее время мы проводим сравнительный анализ полиморфизма генов, вовлеченных в регуляцию состояния сердечно-сосудистой системы, у добровольцев в высоких и средних широтах.

Необходимо также определиться с феноменом «запаздывания» реакции сердечно-сосудистой системы на ГМВ, наблюдаемом в нашем исследовании у добровольцев в высоких широтах. Возможно, это не отсутствие синхронизации  $KCT-Kp$  (как учитывалось в настоящем исследовании), а особый («запаздывающий») тип кардиочувствительности, и в таком случае суммарный групповой эффект синхронизации  $KCT-Kp$  (обычный, в тот же день, и «запаздывающий») у добровольцев в высоких широтах будет, вероятно, выше, чем в средних широтах.

Нами установлено, что групповые эффекты психологической чувствительности к ГМВ, также как и кардиочувствительности, не различаются у добровольцев высоких и средних широт при анализе результатов многоширотного мониторинга 2014 г. Вместе с тем при анализе данных мониторинга 2015 г. были получены аналогичные результаты [29]. Так, было установлено совпадение частоты встречаемости психологически чувствительных и нечувствительных к изменениям ГМВ добровольцев в северных и средних широтах, хотя при этом психологические характеристики обследуемых имели различия в зависимости от региона проживания.

Воспроизводимость данных результатов у добровольцев высоких и средних широт в разные годы (особенно с учетом того, что состав групп доб-

ровольцев мониторинга на отдельных этапах не является идентичным на 100%) позволяет считать совпадение групповой психологической чувствительности к ГМВ в обследуемых регионах устойчивой характеристикой.

Крайне важным нам представляется анализ кардио- и психологической чувствительности к ГМВ у добровольцев одной группы. Установлено, что групповые эффекты кардио- и психологической чувствительности к ГМВ совпадают как в высоких, так и в средних широтах. Таким образом, адаптивные реакции сердечно-сосудистой и нервной систем на изменение ГМВ согласованы между собой независимо от региона проживания.

Особый интерес представляет наличие такой согласованности для жителей высоких широт, поскольку ранее нами было установлено, что в авроральных широтах (пос. Тикси) отмечается реакция синхронизации  $KCT-Kp$  только с мощными геомагнитными возмущениями, а в субавроральных (Якутск) – как с мощными, так и со слабыми ГМВ [23]. Объяснение данному феномену может лежать в геофизических особенностях именно авроральных широт, где на высоте 100 км протекают мощные электрические токи (авроральные электроджеты), достигающие величины миллионов ампер [5]. Вероятно, в этих условиях миокард адаптируется и перестает реагировать на слабые геомагнитные возмущения, сохраняя чувствительность только к наиболее мощным. Поскольку групповые эффекты кардио- и психоэмоциональной чувствительности у обследуемых высоких широт совпадают, следует предположить, что и нервная система добровольцев в авроральной зоне также адаптируется к повышенному геомагнитному фону и реагирует синхронизацией  $PT-Kp$  преимущественно при значительных ГМВ. В настоящее время для уточнения данного предположения нами проводятся исследования по оценке психологической чувствительности отдельно в авроральных и субавроральных широтах.

В средних широтах, как показано в предшествующих исследованиях, групповой эффект синхронизации  $KCT-Kp$  может колебаться от 61.3% (при оценке  $KCT$  ЭКГ в покое) до 74.2% (по результатам четырехкратного измерения  $KCT$ : в покое, после эмоциональной нагрузки, после физической нагрузки, после отдыха) [22, 23]. Поскольку оценку реактивной тревожности проводили у добровольцев в состоянии покоя (без дополнительных эмоциональных и физических нагрузок), методологически корректно при оценке соотношения психологической чувствитель-

ности и кардиочувствительности к ГМВ использовать данные синхронизации КСТ– $K_p$  по результатам ЭКГ, снятой именно в покое. Данный подход и реализован в представленной работе.

Результаты исследования позволяют высказать предположение о том, что существуют единые механизмы рецепции к изменению геомагнитной возмущенности со стороны сердечно-сосудистой системы и нервной системы. Одним из таких механизмов могут быть циклические изменения в системе оксида азота [6, 16], которая регулирует основные механизмы реакции сердечно-сосудистой системы на изменение геомагнитной возмущенности: колебания артериального давления, развитие тромбозов и аритмий, нарушение реологических свойств крови [13–15, 19]. В настоящее время имеются и прямые экспериментальные доказательства связи колебаний содержания окиси азота в организме человека с состоянием геомагнитной возмущенности [30]. Известно, что цикл оксида азота принимает участие и в регуляции нервной системы за счет влияния на нейрон-нейронные и нейрон-глиальные взаимодействия [31–33]. Поскольку известно, что ритмы головного мозга синхронизируют все физиологические процессы организма [34], адаптивные изменения состояния нервной системы могут вызывать и аналогичные адаптивные реакции со стороны других систем, в частности сердечно-сосудистой. Именно этим и может объясняться совпадение кардио- и психологической чувствительности к ГМВ в группах обследуемых добровольцев, при этом регион проживания существенного значения не имеет.

Изучение кардио- и психологической чувствительности добровольцев различных регионов к ГМВ, представленное в настоящем исследовании, не только позволяет разделить глобальные и региональные особенности влияния космической погоды на ведущие системы регуляции человеческого организма, но и расширяет тем самым известные представления о влиянии факторов космической погоды на состояние здоровья человека [35–39]. Планируется, что полученные результаты будут использованы в дальнейшем при разработке персонализированных мер профилактики негативного влияния факторов космической погоды для жителей различных регионов.

## ВЫВОДЫ

1. Проведение синхронного многоширотного мониторинга «Гелиомед-2» позволило выявить как в высоких, так и в средних широтах кардио-

чувствительных и кардионечувствительных к геомагнитным возмущениям добровольцев, причем их соотношение не зависит от региона проживания.

2. Групповые эффекты синхронизации состояния миокарда и геомагнитной возмущенности у кардиочувствительных добровольцев в различных регионах количественно не отличаются и составляют 71% как в высоких, так и в средних широтах, что является отражением глобальности воздействия факторов космической погоды на состояние сердечно-сосудистой системы человека.

3. Структура групповой синхронизации состояния миокарда и геомагнитной возмущенности у кардиочувствительных добровольцев имеет региональные особенности. Однотипно добровольцы в высоких и средних широтах реагируют только на 43% геомагнитных возмущений, биоэффективность остальных 57% геомагнитных возмущений различна для добровольцев в зависимости от региона проживания.

4. Феномен «запаздывания» реакции миокарда на геомагнитные возмущения на одни-двое суток выявлен у добровольцев высоких широт и отсутствует у добровольцев в средних широтах.

5. Групповые эффекты психологической чувствительности к геомагнитным возмущениям не различаются у добровольцев высоких и средних широт.

6. Адаптивные реакции сердечно-сосудистой и нервной систем при изменении геомагнитной активности согласованы между собой у здоровых добровольцев независимо от региона проживания, поскольку выявлено совпадение групповых эффектов кардио- и психологической чувствительности к геомагнитным возмущениям между собой как в группе высоких, так и в группе средних широт.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-415-140002).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствовали этическим



стандартам Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям. От участников исследования было получено информированное добровольное согласие.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Л. Чижевский, *Земное эхо солнечных бурь* (Мысль, М., 1976).
2. И. Е. Оранский и П. Г. Царфис, *Биоритмология и хронотерапия* (Высш. шк., М., 1989).
3. М. Н. Гневыхшев, *Результаты исследования солнечной активности и солнечно-земных связей* (ГАО, М., 1982).
4. Н. Г. Клейменова, О. В. Козырева, Т. К. Бреус и С. И. Рапопорт, *Биофизика* **52** (6), 1112 (2007).
5. S. N. Samsonov, N. G. Kleimenova, O. V. Kozyreva, and P. G. Petrova, *Izvestiya, Atmospheric and oceanic physics* **50**, 719 (2014).
6. С. С. Паршина, С. Н. Самсонов, В. П. Реутов и др., в кн. *Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии*, под ред. Е. Л. Глориозова (Институт новых информационных технологий, М., 2017), сс. 164–181.
7. G. Cornelissen, F. Halberg, T. Breus, et al., *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics* **64**, 707 (2002).
8. С. Н. Самсонов, П. Г. Петрова, А. А. Стрекаловская и др., *Наука и образование*, № 2, 50 (2008).
9. С. Н. Самсонов, В. И. Манькина, Н. Г. Скрябин и др., *Вестн. новых мед. технологий*, № 1, 246 (2009).
10. В. Н. Обридко, М. В. Рагульская, О. В. Хабарова и др., *Психосоматические и интегративные исследования* **1** (1), (2015).
11. С. Н. Самсонов, П. Г. Петрова, А. А. Стрекаловская и др., *Наука и образование* **2** (50), 50 (2008).
12. Т. К. Breus, V. A. Ozheredov, E. V. Syuitkina, et al., *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics* **70** (2–4), 436 (2008).
13. Ю. И. Гурфинкель, *Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность* (ИИКЦ Эльф-3, М., 2004).
14. Ю. И. Гурфинкель, В. А. Ожередов, Т. К. Бреус и др., *Биофизика* **63** (2), 402 (2018).
15. Е. Г. Каменева, Дис. ... канд. биол. наук (НИИ экспериментальной медицины РАМН, СПб., 2009).
16. С. С. Паршина, С. Н. Самсонов, В. П. Реутов и др., в сб. *Матер. XII международной крымской конференции «Космос и биосфера»* (Ариал, Алушта, 2017), сс. 140–143).
17. М. В. Рагульская, В. В. Вишневецкий, П. Г. Петрова и др., *Биотропное воздействие космической погоды* (ВВМ, СПб., 2010).
18. Л. С. Файнзильберг, *Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика*. (Наук. думка, Киев, 2008).
19. С. Н. Самсонов в кн. *Биотропное воздействие космической погоды (по материалам российско-украинского мониторинга «Гелиомед» 2003–2010)*, под ред. М. В. Рагульской (ВВМ, СПб., 2010), сс. 69–90.
20. А. И. Кодочигова, С. С. Паршина, С. Н. Самсонов и др., *Психосоматические и интегративные исследования* **2** (1), 105 (2016).
21. K. V. Komzin, P. G. Petrova, A. A. Strekalovskaya, et al., *Wiadomosci Lekarskie* **71** (9), 1742 (2018).
22. С. С. Паршина, С. Н. Самсонов, В. И. Манькина и др., в кн. *Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии*, под ред. Е. Л. Глориозова (Институт новых информационных технологий, М., 2015), сс. 316–322.
23. С. С. Паршина, Т. Н. Афанасьева, С. Н. Самсонов и др., *Вестн. СВФУ* **4** (5), 16 (2016).
24. Л. С. Файнзильберг, *Управляющие системы и машины*, № 4, 40 (1998).
25. В. В. Вишневецкий, Л. С. Файнзильберг и М. В. Рагульская, *Биомед. технологии и радиоэлектроника*, № 3, 3 (2003).
26. S. N. Samsonov, *Odessa Astronomical Publications* **26** (2), 297 (2013).
27. А. И. Кодочигова, С. С. Паршина, С. Н. Самсонов и др., *Психосоматические и интегративные исследования* **4** (1), 104 (2018).
28. В. А. Молчанов, И. А. Подкидышев и Е. Д. Смирнов, в кн. *Информационные технологии и математическое моделирование*, под ред. А. Н. Моисеева и С. П. Сущенко (НЛТ, Томск, 2019), сс. 278–283.
29. А. И. Кодочигова, С. С. Паршина, С. Н. Самсонов и др., *Якутский мед. журн.* **64** (4), 85 (2018).
30. В. А. Ямшанов и В. К. Кошелевский, *Биофизика* **52** (4), 718 (2007).
31. Н. П. Ларионова, В. П. Реутов, Н. В. Самосудова и др., *Докл. РАН* **393** (5), 698 (2003).
32. Н. В. Самосудова, В. П. Реутов, Н. П. Ларионова и др., *Докл. РАН* **378** (3), 417 (2001).
33. А. В. Гурин, *Успехи физиол. наук* **28** (1), 53 (1997).
34. В. Н. Обридко, М. В. Рагульская, О. В. Хабарова и др., в кн. *Биотропное воздействие космической погоды*, под ред. М. В. Рагульской (ВВМ, СПб., 2010), сс. 205–246.
35. V. A. Ozheredov, T. K. Breus, Yu. I. Gurfinkel, et al., *Global Telemedicine and eHealth Updates: Knowledge Resources* **2**, 388 (2009).
36. Т. К. Breus, V. A. Ozheredov, E. V. Syuitkina, et al., *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics* **7**, 436 (2008).
37. G. Cornélissen, F. Halberg, and R. B. Singh, *World Heart J.* **1** (1), 15 (2008).
38. F. Halberg, G. Cornélissen, K. Otsuka, et al., *Neuroendocrinol. Lett.* **21**, 233 (2000).
39. F. Halberg, A. Delyukov, Yu. Gorgo, et al., *Neuroendocrinol. Lett.* **21**, 233 (2000).

## Features of the Response of the Cardiovascular System to Geomagnetic Disturbance at Different Latitudes

**S.S. Parshina\***, **S.N. Samsonov\*\***, **T.N. Afanasyeva\***, **P.G. Petrova\*\*\***, **A.A. Strekalovsky\*\*\***,  
**V. D. Petrova\***, **A.I. Kodochigova\***, **K.V. Komzin\*\*\***, and **L.K. Tokaeva\***

*\*Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, ul. Bolshaya Kazachya 112, Saratov, 410012 Russia*

*\*\*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Lenina 31, Yakutsk, 677980 Russia*

*\*\*\*Medical Institute of the Ammosov North-Eastern Federal University, ul. Oyunskogo 27, Yakutsk, 677000 Russia*

This paper describes the principles of multi-latitude monitoring “Heliomed-2” conducted for obtaining new data on the impact of space weather on human health. The paper presents results of synchronous monitoring oriented to the assessment of the response of the cardiovascular system and psycho-emotional state of healthy volunteers to changes in the geomagnetic disturbance at high (Tiksi settlement and the city of Yakutsk) and middle (city of Saratov) latitudes. In all the volunteers, the effects of synchronization of ventricular myocardial repolarization processes (according to the data on the symmetry coefficient of the T wave of the electrocardiogram) and geomagnetic disturbance as well as synchronization of reactive anxiety and geomagnetic disturbance were observed. It has been established that regardless of latitude, cardiac sensitivity and psychological sensitivity to geomagnetic disturbances in volunteers from the same group were similar.

*Keywords: space weather, cardiovascular system, anxiety*