

Влияние гелиогеофизических и природно-климатических факторов на сердечно-сосудистую систему (обзор литературы)

Толстов П. В.^{1,2}, Калягин А. Н.¹, Татаринова М. Б.²

¹ФГБОУ ВО "Иркутский государственный медицинский университет" Минздрава России. Иркутск; ²Иркутский филиал ФГАУ "Национальный медицинский исследовательский центр "Межотраслевой научно-технический комплекс "Микрохирургия глаза" им. акад. С. Н. Федорова" Минздрава России. Иркутск, Россия

Несмотря на многолетнее изучение влияния природно-климатических и гелиогеофизических факторов на организм человека, многие вопросы остаются нерешенными. Это связано, с одной стороны, с многообразием и сложностями в изучении самих природных факторов, а с другой стороны, с неоднозначным влиянием последних на различные функциональные системы организма исследуемых групп; эти группы в свою очередь неоднородны в зависимости от изучаемой проблемы, и, кроме того, различные статистические методы в разных работах применяются не всегда корректно. В обзоре представлен анализ современных данных, отражающих влияние гелиогеофизических и природно-климатических факторов на сердечно-сосудистую систему человека. По данным литературы, наиболее значимыми из природно-климатических и гелиогеофизических факторов являются такие параметры окружающей среды, как температура, атмосферное давление и солнечная активность. Обнаружено, что вышеуказанные факторы оказывают сильное влияние на сердечно-сосудистую систему, что выражается в развитии таких неотложных состояний, как инсульт, инфаркт миокарда и внезапная коронарная смерть. Изменение параметров внешней среды увеличивало количество обращений населения в экстренные службы, причем их влияние на городское и сельское население различалось. При этом задержка сердечно-сосудистого события при изменении температуры окружающей среды составляла от 1 до 3 дней. Солнечные аномалии и связанные с ними индексы вызывали рост числа инфарктов миокарда и инсультов спустя 1-2 дня после аномалий, в то время как увеличение числа гипертонических кризов отмечалось за 3 дня до этих аномалий. Выявлено, что между изменением

температуры и риском сердечно-сосудистых событий существует J-образная связь, а между атмосферным давлением и смертностью от коронарных событий — V-образная связь с минимумом смертности при атмосферном давлении, равном 760 мм рт.ст. Также было показано, что сахарный диабет, мужской пол и пожилой возраст являлись существенными факторами, усугубляющими риск осложнений сердечно-сосудистых заболеваний при изменении погодных условий.

Ключевые слова: гелиогеофизические факторы, природно-климатические факторы, инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения, осложнение сердечно-сосудистых заболеваний, солнечная активность, магнитные бури.

Отношения и деятельность: нет.

Поступила 16/05-2023

Рецензия получена 14/06-2023

Принята к публикации 31/07-2023



Для цитирования: Толстов П. В., Калягин А. Н., Татаринова М. Б. Влияние гелиогеофизических и природно-климатических факторов на сердечно-сосудистую систему (обзор литературы). *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023;22(8):3599. doi:10.15829/1728-8800-2023-3599. EDN TTOLAW

Influence of heliogeophysical and climatic factors on the cardiovascular system: a literature review

Tolstov P. V.^{1,2}, Kalyagin A. N.¹, Tatarinova M. B.²

¹Irkutsk State Medical University. Irkutsk; ²Irkutsk branch of the Fedorov Eye Microsurgery Interdisciplinary Science and Technology Complex. Irkutsk, Russia

Despite many years of studying the influence of climatic and heliogeophysical factors on the human body, many issues remain unresolved. On the one hand, this is due, to the diversity and complexity in the study of the natural factors themselves, and on the other hand, to the ambiguous influence of the latter on various functional body systems of the studied groups; these groups, in turn, are heterogeneous depending on the studied problem, and, in addition, different statistical methods are not always applied correctly. The

review presents an analysis of modern data reflecting the influence of heliogeophysical and climatic factors on the human cardiovascular system. According to the literature, the most significant of the climatic and heliogeophysical factors are such environmental parameters as temperature, atmospheric pressure, and solar activity. Above factors was found to have a strong influence on cardiovascular system, which is expressed in the development stroke, myocardial infarction and sudden coronary death. Changes in external environment parameters

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: petr.tolstov.1996@mail.ru

[Толстов П. В. — аспирант, врач-терапевт, ORCID: 0000-0002-6880-7279, Калягин А. Н. — д.м.н., профессор, проректор по лечебной работе и последипломному образованию, зав. кафедрой профилактики внутренних болезней, ORCID: 0000-0002-2708-3972, Татаринова М. Б. — к.м.н., врач-невролог, ORCID: 0000-0003-0922-6746].

increased the number of calls from the population to emergency services, and their impact on the urban and rural population differed. At the same time, the delay in a cardiovascular event with a change in ambient temperature ranged from 1 to 3 days. Solar anomalies and related indices caused an increase in the number of myocardial infarctions and strokes 1-2 days after the anomalies, while an increase in the number of hypertensive crises was noted 3 days before these anomalies. There is a J-shaped relationship between temperature changes and the risk of cardiovascular events, and a V-shaped relationship between atmospheric pressure and mortality from coronary events with a minimum of mortality at an atmospheric pressure of 760 mm Hg. It has also been shown that diabetes mellitus, male sex and older age were significant factors that increase the risk of cardiovascular events with changing weather conditions.

Keywords: heliogeophysical factors, climatic factors, myocardial infarction, acute cerebrovascular accident, complication of cardiovascular diseases, solar activity, magnetic storms.

Relationships and Activities: none.

Tolstov P. V.* ORCID: 0000-0002-6880-7279, Kalyagin A. N. ORCID: 0000-0002-2708-3972, Tatarinova M. B. ORCID: 0000-0003-0922-6746.

*Corresponding author:
petr.tolstov.1996@mail.ru

Received: 16/05-2023

Revision Received: 14/06-2023

Accepted: 31/07-2023

For citation: Tolstov P. V., Kalyagin A. N., Tatarinova M. B. Influence of heliogeophysical and climatic factors on the cardiovascular system: a literature review. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(8):3599. doi:10.15829/1728-8800-2023-3599. EDN TTOLAW

АГ — артериальная гипертензия, АД — артериальное давление, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИМ — инфаркт миокарда, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ОКС — острый коронарный синдром, СД — сахарный диабет, СМП — скорая медицинская помощь (служба), ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ССС — сердечно-сосудистая система, ФР — фактор(-ы) риска.

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Влияние гелиогеофизических и природно-климатических факторов, особенно изменение их параметров, на здоровье человека многогранно и неоднозначно.
- Сердечно-сосудистые заболевания уже много лет являются доминирующими в структуре смертности во всем мире.
- Возникновение природных аномалий приводит к развитию острых сердечно-сосудистых событий и декомпенсации хронических заболеваний.

Что добавляют результаты исследования?

- Гелиогеофизические и природно-климатические факторы можно рассматривать как немодифицируемые факторы риска возникновения и прогрессирования сердечно-сосудистой патологии.
- Определено, что основными индивидуальными факторами, повышающими риск возникновения сердечно-сосудистых осложнений на фоне воздействия гелиогеофизических и природно-климатических факторов, являются сахарный диабет, мужской пол и пожилой возраст.
- Минимальные изменения температуры, магнитного поля или атмосферного давления, взятые по отдельности, оказывают незначительное влияние на организм человека, тогда как совместное влияние этих факторов приводит к выраженному нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы.

Key messages

What is already known about the subject?

- The influence of heliogeophysical, natural and climatic factors, especially changes in their parameters, on human health is multifaceted and ambiguous.
- Cardiovascular diseases have been the dominant cause of death worldwide for many years.
- Natural anomalies lead to the development of acute cardiovascular events and decompensation of chronic diseases.

What might this study add?

- Heliogeophysical and climatic factors can be considered as non-modifiable risk factors for the occurrence and progression of cardiovascular disease.
- The main individual factors that increase the risk of cardiovascular events against the background of exposure to heliogeophysical and climatic factors are diabetes, male sex and old age.
- Minimal changes in temperature, magnetic field or atmospheric pressure, taken separately, have little effect on the human body, while its combined effect leads to severe cardiovascular disorders.

Введение

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти людей во всем мире. С 2000г количество смертей от ССЗ увеличилось на 25,3% и в 2016г составило 17,9 млн человек (31% от общего количества умерших)^{1,2}, [1, 2]. Число умерших всех возрастов в Российской Федерации по причине ССЗ в 2021г составило 933986 человек, из которых 114246 умерло в трудоспособном возрасте (30,1% от всех умерших в трудоспособном возрасте). Для сравнения от новообразований умерло 272032 человек, из которых 57503 являлись лицами трудоспособного возраста (15,1% от всех умерших трудоспособного возраста)³. Только с 2011 по 2021гг в Российской Федерации было выявлено 48 млн новых случаев заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС), что говорит о их высокой распространенности⁴.

Основные неблагоприятные сердечно-сосудистые события (MACE, Major Adverse Cardiovascular Events) требуют слаженной работы скорой медицинской помощи (СМП) и регионального сосудистого центра. Однако за последние 10 лет количество станций и отделений СМП по всей стране уменьшилось с 2912 до 2035 (т.е. сократилось на 30%), при этом количество вызовов с 50,3 млн человек уменьшилось лишь до 46,9 млн человек (7%)⁵. Высокая смертность от ССЗ, несмотря на проводимые мероприятия, оставляет в Российской Федерации в группе стран с очень высоким риском, в которых смертность на 100 тыс. составляет среди мужчин >450 человек и >350 среди женщин [3, 4].

Несмотря на широкомасштабные исследования общеизвестных факторов риска (ФР) ССЗ, существует недооцененное влияние природно-климатических факторов. Так, комиссия журнала Lancet по здравоохранению и изменению климата в 2009г заявила, что самой большой проблемой для здоровья в XXIв является изменение климата [5]. Согласно прогнозам [6], дальнейшее ухудшение климата приведет к росту острых ССЗ. В связи с этим более углубленное изучение атмосферных, климатических факторов и оценка их влияния на здоровье человека может помочь в разработке новых стратегий профилактики ССЗ.

Большой вклад в изучение изменений климата и влияния этих изменений на организм человека внесли китайские ученые [7–11]. В исследовании 2022г зарегистрировано увеличение количества дней жаркой погоды на территории Китая в два раза при сравнении этого показателя за 1960 и 2018гг, соответственно. При этом отмечено увеличение как числа дней с высокой температурой окружающей среды (так называемых "волн"), так и частоты этих эпизодов. В среднем, продолжительность волн жаркой погоды возросла на 10,8 дней. Кроме того, >10% тепловых волн стали сопровождаться продолжительными периодами засухи [8]. Представленные результаты исследований согласуются с отчетами МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) — организации, созданной для оценки риска изменения климата, вызванного техногенными факторами (действиями человека). Вероятнее всего, причиной этих изменений климата явился антропогенный фактор.

Цель настоящего обзора — представить анализ современных данных, отражающих влияние гелиогеофизических и природно-климатических факторов на ССС человека.

Материал и методы

В работе был проведен несистематический обзор отечественных и зарубежных исследований, которые показывают влияние природно-климатических и гелиогеофизических факторов на обострение заболеваний ССС. Проанализировано влияние на ССС человека таких факторов, как температура окружающей среды, атмосферное давление, геомагнитные индексы, а также индексы космической погоды.

В рамках настоящей работы под термином "гелиогеофизические факторы" понимают комплекс физических факторов, влияющих на организм человека и связанных с солнечной активностью, вращением Земли, флуктуациями геомагнитных полей, особенностями строения и состояния атмосферы, а под термином "природно-климатические факторы" подразумеваются температура, атмосферное давление, влажность воздуха. Гелиогеофизические факторы могут влиять на природно-климатические, однако природа этих влияний не однонаправленна, поэтому уместно рассматривать эти две группы факторов как самостоятельные. Были проанализированы многочисленные исходы влияния изучаемых факторов на ССС, такие, как смерть, нарушение ритма сердца, возникновение острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) и острого коронарного синдрома (ОКС), количество госпитализаций и обращений в экстренные службы и др. Поиск публикаций проводился в наукометрических базах PubMed, Elibrary.ru, а также в поисковой системе Google Scholar. Использованы ключевые слова: (heliogeophysical factors) or (natural and climatic factors) or (myocardial infarction) or (stroke) or (complication of cardiovascular diseases) or (solar activity) or (magnetic storms). Период поиска 2010–2023гг. Более ран-

¹ World health statistics 2022: monitoring health for the SDGs sustainable development goals. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051157>.

² World health statistics 2016: monitoring health for the SDGs sustainable development goals. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565264>.

³ Росстат. Число умерших по причинам смерти: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo24-2_2021.xlsx.

⁴ Росстат. Заболеваемость населения по основным классам болезней: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/zdr2-1.xls>.

⁵ Росстат. Обслуживание населения скорой медицинской помощью: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/zdr1-6%20xls.xls>.

ние работы представлены в обзоре ввиду высокой информативной ценности по исследуемой теме.

Результаты

Влияние температуры на ССС человека

Известно, что "метеочувствительными", т.е. болезненно реагирующими на изменения погодных условий, являются около половины условно здоровых людей. При этом среди лиц, страдающих различными хроническими заболеваниями, метеочувствительность распространена гораздо выше [12]. Температура окружающей среды, как один из природно-климатических факторов, безусловно, оказывает влияние на самочувствие человека в частности и на его состояние здоровья в целом. Воздействие внешнего температурного фактора на ССС реализуется через изменение тонуса кровеносных сосудов, системы гемостаза и повышение уровня биомаркеров воспалительного процесса [13]. Кроме влияния на физиологические процессы в организме, высокая температура окружающей среды воздействует и на эмоциональный фон человека. Психологическое восприятие высокой температуры не уступает по значимости, а иногда и превосходит физиологические эффекты жаркой погоды [14].

В результате анализа 1,6 млн телефонных обращений, поступивших в экстренные службы Гонконга, были выделены определенные группы людей, которым чаще требовалась экстренная медицинская помощь. Это были лица женского пола, пожилого возраста и условно здоровые люди, у которых в анамнезе не было сахарного диабета (СД), артериальной гипертензии (АГ) и перенесенного ОНМК [7]. Как показывают эти исследования, температурный фактор значительно влияет на состояние здоровья населения, приводя к обострению ССЗ и повышению летальности.

В единственном обсервационном исследовании, проведенном на территории нескольких европейских государств, выявлены связи между атмосферными факторами и частотой госпитализаций по поводу ССЗ. В течение 5 лет на каждой из изученных территорий определены сильные связи между ССЗ, СД, гиперлипидемией — с одной стороны, и температурой окружающей среды — с другой [6].

Последнее десятилетие ознаменовалось появлением исследований с использованием миллионных регистров и выборок, что существенно повысило качество и уровень выполняемых работ. Во многих систематических обзорах и метаанализах определена устойчивая обратная связь J-образной формы между температурой и сердечно-сосудистыми событиями [15-18].

В связи с этим интересно отметить, что меняется не только климат на планете, но и реагирование человека в ответ на изменения погодных

условий, в частности, на повышение температуры окружающей среды. Риск инфаркта миокарда (ИМ) на фоне высоких температур в 1987-2000гг был ниже, чем в 2001-2014гг [19]. В ближайшее время прогнозируются все более частые и продолжительные периоды высоких температур [20]. В перспективе ожидается сохранение высокого роста числа обострений хронических заболеваний вслед за изменениями климата, которые будут сопровождаться, кроме того, дальнейшим загрязнением атмосферы, мировым голодом и экстремальными погодными явлениями [7, 13]. За 2000г изменение климата во всем мире привело к >150 тыс. случаев смерти от различных заболеваний [21].

Сопоставление природно-климатических параметров с уровнем смертности (~2 млн случаев смерти от всех причин) в 272 городах в Китае позволили продемонстрировать J-образную связь между показателями температуры и смертностью в 5 климатических зонах. Уровень минимальной смертности соответствовал диапазону 21,6-23,7° С, причем риск смерти увеличивался при низких температурах (-1,4° С) с отсрочкой до 14 дней, в отличие от высоких температур (29° С) с задержкой на 0-3 дня от момента изменения температуры. При этом риск смерти от ОНМК по геморрагическому типу, связанный с низкими температурами, был выше, чем от ишемического инсульта [22]. Также следует отметить исследования, показывающие, что тромбоз центральной артерии сетчатки в 30% случаев может являться предиктором ОНМК. Имеются работы, подтверждающие зависимость возникновения тромбоза сосудов сетчатки от погодных условий. Это отражает общность механизмов нарушения кровообращения головного мозга и глаза [23, 24].

Аналогичные тенденции в виде более значимого влияния низких температур на риск ОНМК отмечены и в отечественной литературе. Однако риск развития ИМ был больше связан с повышением температуры [25]. При анализе 8 млн случаев госпитализации по поводу ССЗ выявлено, что повышение температуры на 1° С увеличивало число госпитализаций на 0,31-0,82% по поводу таких заболеваний, как ишемическая болезнь сердца (ИБС), ОНМК, хроническая сердечная недостаточность и нарушения ритма, при этом время от повышения температуры до возникновения осложнений и последующей госпитализации, в среднем, составляло 0-1 день [26].

Подобные результаты получены при анализе данных более чем из 30 городов Китая. Установлено, что повышение температуры на 1° С увеличивало смертность от ССЗ на 0,60% (0,25-0,94%) [27]. В другом исследовании обнаруживается риск возникновения ССЗ, которые развивались спустя несколько часов после изменения температуры, тогда

как ИМ и остановка сердца происходили в более короткие сроки [28]. Следует отметить, что ~15% случаев теплового удара у пациентов с ИМ заканчивается летально.

Вместе с тем, имеются исследования, изучающие влияние не только температуры окружающего воздушного пространства, но учитывающие и сам состав последнего. При дополнительном учете концентраций таких составляющих атмосферы, как CO_2 , NO_2 и мельчайших частиц размером от 0,001 до 2,5 мкм — РМ 2.5 (это мелкодисперсная пыль и аэрозоль, размер которых составляет от 0,001 до 2,5 мкм (1 мкм — это 0,000 001 м), связь температуры и летальности снижалась. Но все же влияние жаркой погоды на ССЗ подтверждено и в данной работе, хотя степень этого влияния была ниже, чем в других аналогичных исследованиях [26, 29]. В связи с этим можно отметить, что при совместном анализе двух природно-климатических факторов популяционный риск развития неотложных состояний в виде дополнительных обращений в СМП достигал ~4000 случаев [30].

Обсуждение проблемы неотложных состояний на фоне изменений температуры окружающей среды следует рассматривать и с точки зрения доступности специализированной медицинской помощи. Особенно это актуально в отношении ИМ в связи с его значительной распространенностью и высокой летальностью. Согласно новому исследованию, лица, проживающие в пригородных районах Аугсбурга (университетский город на юго-западе Германии), имели более высокий риск развития ИМ, который был связан с колебаниями температуры, по сравнению с городскими жителями. Безусловно, на исход острой коронарной патологии оказывала влияние степень доступности медицинских центров с возможностью проведения чрескожного коронарного вмешательства по месту госпитализации. В то же время, наличие сопутствующего СД повышало число случаев ИМ, произошедших на фоне изменений температуры окружающей среды [19]. Эти данные подтверждают и Boussoussou N, et al. [6]. Наряду с этим установлено, что ИМ тяжелой степени, возникший на фоне повышенной температуры и значительного загрязнения воздуха, наиболее часто выявлялся среди городского населения, проживающего в центре города, нежели у лиц, живущих в пригородных районах, тем самым образуя форму распространения в виде пончика [31].

В одной из работ после выполнения систематического поиска было проанализировано >100 тыс. статей. В результате установлено, что ИМ развивается спустя некоторое время после воздействия низких температур, однако возникает почти сразу на фоне высокой температуры окружающего воздуха. Авторы также отмечают, что разные климатические зоны имеют разную степень связи ИМ с темпера-

турными изменениями [32]. Анализ работ, проведенных в 8 странах, позволил оценить разные климатические зоны по степени влияния на развитие ОКС. На популяции в 1 млн человек была показана значительная связь между ИМ и экстремальной жарой или холодом. Более подверженными влиянию температуры оказались лица мужского пола и пожилые пациенты [33]. В другом крупном исследовании проанализированы систематические обзоры, метаанализы, работы с логистической регрессией, корреляционным анализом, нелинейной моделью распределенного запаздывания, многоступенчатым регрессионным анализом. В общей сложности обзор включил 22 работы, в которых рассматривалось количество госпитализаций по поводу ИМ, ишемического инсульта и других ССЗ. У всех перечисленных заболеваний была обнаружена связь с высокой температурой [34]. Связи, изучаемые в другом исследовании, устанавливают влияние низких температур на возникновение ИМ. Однако остается неясно, какая именно низкая температура больше всего влияет на риск ИМ [35]. При оценке ~800 тыс. случаев госпитализации по поводу ИМ в Нью-Йорке было обнаружено влияние почасового повышения температур, где меньший риск определялся в ранние часы. При наблюдаемом диапазоне от -29 до 39°C , ИМ был положительно связан с температурой окружающей среды, наблюдавшейся в течение 6 часов до ИМ. Стоит отметить, что средний возраст участников составлял 70 лет со стандартным отклонением 15 лет, т.е. 68% изученных были в возрасте 55–85 лет [36]. В 2022г проведено 2 уникальных исследования, анализирующих ИМ с подъемом и без подъема сегмента ST. Было показано, что увеличение числа случаев ИМ без подъема ST происходило в дни высоких температур. Предрасполагающими факторами оказались мужской пол, возраст >65 лет, гиперлипидемия и отсутствие в анамнезе курения, ИБС, гипертонии и СД, что, конечно, вызывает интерес и требует дополнительного изучения [37]. По данным Kobayashi S, et al, ИМ с подъемом сегмента ST не был связан с низкими температурами, но температура в дни ИМ была статистически значимо ниже ($p=0,001$), чем накануне. Также обнаружена связь между ИМ и температурными колебаниями у пожилых людей ($p=0,003$) и отсутствие таковой у лиц молодого возраста ($p=0,171$). Разница наблюдалась и по половому признаку (мужчины $p=0,002$; женщины $p=0,169$) [38]. Годом ранее было выявлено выраженное влияние на риск ИМ с подъемом ST погодных условий и загрязнения окружающей среды [39]. Авторы отметили высокую прогностическую ценность температурных значений и показателей загрязнения окружающей среды в оценке риска развития ИМ с подъемом ST.

Таким образом, температура окружающей среды существенно влияет на здоровье человека и ССС.

В многочисленных исследованиях последних лет обнаружены уникальные, ранее неизвестные факты. Несмотря на большое количество исследований и регистров, полученная информация носит описательный характер, не сопровождается практическими рекомендациями в плане прогнозирования развития ССЗ и их осложнений, а также снижения смертности в зависимости от изменения температур. Имеющиеся профилактические рекомендации редко имеют доказательную основу и не всегда применимы на практике.

Влияние атмосферного давления на ССС

Влияние атмосферного давления на организм человека многогранно и неоднозначно. Имеются данные об индивидуальной субъективной переносимости различных уровней и перепадов атмосферного давления в зависимости от времени года [40]. Однако следует подчеркнуть, что среди природно-климатических факторов именно атмосферное давление является самым значимым ФР обострения ССЗ [41]. Из всех имеющихся работ особого внимания заслуживает проект MONICA (программа Всемирной организации здравоохранения "Мониторирование тенденций заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и факторов, их определяющих") [42], координируемый ВОЗ. При оценке 257 тыс. человек за 10-летний период была обнаружена V-образная связь, в которой минимальная смертность от ИМ и других коронарных заболеваний соответствовала 1016 мбар (760 мм рт.ст.). В исследовании обнаружено, что снижение атмосферного давления на 10 мбар (7,5 мм рт.ст.) увеличивало частоту коронарных событий на 12%, смертность на 8%, тогда как повышение давления на 10 мбар увеличивало коронарные события на 11% и смертность на 18%. Подобные крупные работы проводились и в России. Обнаружено, что в дни, когда перепады атмосферного давления составляли 12 мм рт.ст., имели место следующие явления: среднее количество обращений по причине повышения артериального давления (АД) увеличивалось на 30%, развития ОНМК — на 40%, ССЗ, осложненных хронической сердечной недостаточностью, — на 50%, случаев стабильной стенокардии напряжения — на 20% [43].

Следует подчеркнуть, что, несмотря на высокую вариабельность атмосферного давления в течение суток, многие исследователи оценивали его влияние на состояние здоровья, исходя из средних значений этого погодного фактора за определенный месяц или даже за сезон года. Это, безусловно, снижает убедительность данных. Тем не менее, ряд корректно выполненных исследований позволил выявить существенные закономерности. Была обнаружена высокая частота ИМ при атмосферном давлении <750 мм рт.ст. [44]. В другом исследовании выявлен рост случаев ОНМК по геморрагическому типу при атмосферном давлении >766 мм

рт.ст., причем сосудистые мозговые катастрофы происходили спустя сутки после повышения атмосферного давления [45, 46].

В современных исследованиях выявлены убедительные корреляции ($p=0,0083$) между изменением атмосферного давления и увеличением числа случаев ССЗ, в среднем через 1,5 дня после понижения атмосферного давления [47-50]. В исследовании 2020г отмечается значительное влияние атмосферного давления на течение АГ у мужчин и пожилых людей с задержкой в 1 день, тогда как женщины реагировали с задержкой в 4 дня. Интересно, что пациенты обоих полов моложе 45 лет не реагировали на изменение атмосферного давления [41]. По данным Charach L, et al. также установлено, что из всех природно-климатических факторов атмосферное давление является самым значимым ФР осложнений гипертонической болезни [51]. Авторы приходят к выводу, что в периоды с низким атмосферным давлением требуется соблюдать более строгий контроль АД путем подбора адекватных доз антигипертензивных препаратов. Кроме связи с АГ была установлена связь между разрывом аневризмы аорты и изменениями атмосферного давления, причем эта связь являлась более сильной, чем отношения со среднесуточными изменениями температуры [52].

Таким образом, выявление и изучение подобных связей может дать ключ к пониманию биологических механизмов, лежащих в основе влияния атмосферного давления на состояние здоровья человека, в частности на его ССС. К примеру, подобные разработки проведены в Японии. При создании мультисенсорной системы мониторинга АД ученые учитывают воздействие на него температуры и атмосферного давления. Данная разработка входит в национальную программу Японии [53].

Влияние гелиогеофизических факторов на ССС

Новые технические и цифровые возможности позволяют расширить и углубить представление о влиянии геомагнитных возмущений на организм человека. В одном из последних исследований обнаружена сердечно-сосудистая реакция в ответ на воссозданную магнитную аномалию [54]. Подобные результаты получены >80 лет назад, но подтверждение их с помощью современных методов исследования позволяет с большей уверенностью доверять предшествующим научным трудам. В одном из исследований показано, что возникновение магнитной аномалии на Земле отсрочено, в среднем, на 40 ч [55]. Одно из современных исследований, связанных с прогнозированием неотложных состояний терапевтического профиля, показало, что резкий подъем АД возникает, в среднем, за 3 дня до аномалий на солнце. ИМ и ОНМК возникают в течение суток после активного выброса коронарной массы [25].

Работы литовских исследователей под руководством Vencloviene J заслуживают особого внимания. В исследовании 2016г обнаружены связи между гелиогеофизической активностью и госпитализациями по поводу ИМ. Поправка на сезонность и дни недели с использованием регрессионного анализа Пуассона позволили улучшить прогностическую ценность разработанной модели. В течение различных 2-летних циклов обнаружено, что геомагнитная буря, протонные события, а также X-вспышки увеличивают риск госпитализации по поводу ИМ на 17-52% [56]. У пациентов с ожирением и постоянной формой фибрилляции предсердий также повышался риск острой коронарной патологии в дни геомагнитного возмущения. Риск возникновения фибрилляции желудочков тоже был достоверно связан с геомагнитными изменениями и быстрым солнечным ветром [57]. Кроме того, была обнаружена отсроченность острых сердечно-сосудистых событий, в среднем, на 2 дня. Возможно, эти клинические проявления связаны с тем, что магнитное возмущение Земли провоцирует изменения в собственном электромагнитном поле человека. Так, обнаружено, что нарушение возбудимости миокарда чаще коррелирует с сильным геомагнитным влиянием в отличие от нарушений автоматизма [52]. В российском исследовании при анализе ~10 тыс. сердечно-сосудистых событий, произошедших за 8-летний период наблюдений, получены положительные корреляции между Kp-индексом (показатель, характеризующий геомагнитную активность и классифицирующий геомагнитные бури; он представляет собой отклонение магнитного поля Земли от нормы в течение 3-часового интервала) и случаями ОКС и ОНМК [58].

Команда исследователей под руководством профессора Stoupe E (Медицинский центр им. Рабина, Израиль) обнаружила связь различных видов тропонина (Tn) с гелиогеофизическими событиями. Так, изменение уровня тропонина T у лиц с подозрением на ИМ имело прямую сильную корреляционную связь с геомагнитной бурей ($r=0,77$, $p=0,0021$). Уровень тропонина I статистически значимо связан с индексами солнечной активности и индексами инсоляции [59]. Канадские исследователи также установили связь между увеличением смертности от ССЗ и таким ФР, как гипертоническая болезнь. В исследовании обнаружено влияние бета-плазмы солнечного ветра и геомагнитных бурь на увеличение показателей ежегодной смертности [60]. Швейцарские ученые при изучении 1 тыс. человек, у которых обнаружены разрывы аневризм сосудов головного мозга, подтвердили возможную связь между разрывом аневризм и солнечной активностью. За 2-летний период наблюдения за пациентами, получавшими

лечение в 7 медицинских центрах Швейцарии, был отмечен рост числа госпитализаций в связи с числом и площадью солнечных пятен, а также потоком радиоизлучения, выраженным через индекс F10.7 (индекс интегральной солнечной активности; характеризует среднесуточный поток радиоизлучения Солнца, регистрируемый на длине волны 10.7 см (2800 МГц)). Проведение регрессионного анализа показало, что каждое увеличение F10.7 на 1 единицу увеличивало количество случаев разрыва аневризмы почти на 1% [61]. Недавние результаты, полученные в Чехии, также выявили различные связи между геомагнитной активностью Земли и солнечным излучением. Так, было показано, что индексы Kp, потоки солнечных протонов и F10.7 оказывают влияние на количество смертей от сердечно-сосудистой патологии в те дни, когда эти индексы были высокими. В данном исследовании также обнаружено влияние Солнца на состояние человека после геомагнитного события, а не до него [62]. Эти же авторы доказывают роль солнечных аномалий в развитии неврологических событий даже в большей мере, чем кардиологических [55]. В другом исследовании удалось выявить различное восприятие изменений магнитного поля в зависимости от пола, т.е. отдельно мужчинами и женщинами [63]. В экспериментальном исследовании специалисты из Азербайджана смогли дать оценку влияния различных по силе геомагнитных аномалий. Активизирующими свойствами на функциональную активность мозга обладали минимальные или средние по силе геомагнитные возмущения. Угнетающее действие продемонстрировали именно сильные геомагнитные нагрузки. Так, наблюдалось снижение функциональности мозга, выраженное торможение и влияние на настроение [64].

Имеются работы об особенностях влияния солнечной активности в различных географических зонах. Так, Хаснулин В. И. и др. в своей работе изучали здоровье населения Севера России, где обнаружили связи между геомагнитными возмущениями и электрофизиологической деятельностью сердца у пациентов. Объяснением этому может служить разреженность собственного магнитного поля Земли в высоких широтах, когда как его основной массив сконцентрирован на экваторе, поэтому внешнее воздействие солнечных выбросов на севере более чувствительно ввиду отсутствия сильного сопротивления со стороны земного поля. При сравнении электрокардиограмм до и после бури обнаружено, что электрическая ось сердца смещается влево во время погодной аномалии [65]. Об особенностях географического влияния также говорят чешские ученые, определяющие роль ионосферных параметров как более чувствительный прогностический показатель смерти от ССЗ [66].

Следует отметить, что в условиях северных широт свое влияние на вышеуказанное нарушение имеет извращенная нейрогуморальная реакция [67].

Таким образом, продемонстрировано многогранное влияние солнечной активности, которая представляет собой гравитационно-электромагнитное явление, на сердце и ССС человека. Его воздействие на "здоровое" сердце не является патологическим, но хронические заболевания, а также интенсивная нагрузка на миокард в период магнитной аномалии способны критически нарушить функцию сердца.

Заключение

Эпидемиологические исследования, проведенные в разных странах, убедительно продемонстрировали связь между обострением ССЗ и гелиогеофизическими и природно-климатическими факторами окружающей среды. Авторитетные научные медицинские издания, такие как *Lancet*, отмечают весомую роль этих факторов в повышении риска смерти от разных причин, в т.ч. от ССЗ [5].

Из всего многообразия природных факторов, влияющих на здоровье человека, мы сделали акцент на изучение воздействия температурных факторов, колебания атмосферного давления и на эффект воздействия солнечной радиации. По данным литературы, эти факторы наиболее универсальны и значимы как ФР возникновения ССЗ, обострения уже имеющейся сердечно-сосудистой патологии, а также развития осложнений заболеваний ССС. При этом следует учитывать особенность влияния этих факторов в исходно разных климатических зонах. В перспективе прогнозируется дальнейшее усиление погодных аномалий в связи с влиянием антропогенного фактора. Лидирующее положение среди причин высокой летальности в первую очередь занимают ИМ и ОНМК. Исходы последних во многом зависят от степени доступности неотложной медицинской помощи и своевременности выполнения реваскуляризации миокарда и головного мозга.

Литература/References

1. Roth GA, Abate D, Abate KH, et al. Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet*. 2018;392(10159):1736-88. doi:10.1016/S0140-6736(18)32203-7.
2. Zhang L, Tong Z, Han R, et al. Regional, and National Burdens of Ischemic Heart Disease Attributable to Smoking from 1990 to 2019. *J Am Heart Assoc*. 2023;12(3):e028193. doi:10.1161/JAHA.122.028193.
3. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, et al. ESC National Cardiac Societies; ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J*. 2021;42(34):3227-337. doi:10.1093/eurheartj/ehab484.
4. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Kardiol Pol*. 2016;74(9):821-36. doi:10.5603/KP.2016.0120.
5. Costello A, Abbas M, Allen A, et al. Managing the health effects of climate change: *Lancet* and University College London Institute for Global Health Commission. *Lancet*. 2009;373(9676):1693-733. doi:10.1016/S0140-6736(09)60935-1.
6. Boussousou N, Boussousou M, Merész G, et al. Complex effects of atmospheric parameters on acute cardiovascular diseases and major cardiovascular risk factors: data from the CardiometeorologySM study. *Sci Rep*. 2019;9(1):1-9. doi:10.1038/s41598-019-42830-6.
7. Wong HT, Chiu MYL, Wu CST, et al. The influence of weather on health-related help-seeking behavior of senior citizens in Hong

В связи с вышеперечисленным представляется актуальной разработка систем прогнозирования возникновения острой сердечной и церебральной патологии с учетом влияния климатических и атмосферных факторов в качестве ФР ССЗ. Полученные данные должны учитываться системой здравоохранения региона с целью обеспечения населения силами и средствами неотложной медицинской помощи, особенно в "неблагоприятные" по природно-климатическим и гелиогеофизическим показателям дни. Однако огромные массивы данных, получаемых из множества климатических моделей и зондов, выросли из сотен терабайт в петабайтные значения. Так, по оценкам МГЭИК, к 2030г объем данных достигнет >300 петабайт, что потребует применения новых методов оценки, отличающихся своей сложностью и, адекватностью поставленным задачам [68, 69]. К таким методам можно отнести классическую модель авторегрессионной интегрированной скользящей средней, экспоненциальное сглаживание, множественную регрессию, сингулярный спектральный анализ, двухсезонный Холт-Винтер, тригонометрическое преобразование сезонных тенденций с учетом ошибок авторегрессионной интегрированной скользящей средней, нейронные сети, а также такие расширенные версии, как сезонное авторегрессионное интегрированное скользящее среднее и сезонные авторегрессионные интегрированные скользящие средние с экзогенными регрессорами [70-74].

Необходимо разработать систему оповещения населения и медицинских работников о надвигающихся погодных аномалиях с целью профилактики обострения ССЗ в виде рекомендаций по временному усилению медикаментозной терапии и соблюдению щадящего двигательного режима с исключением психоэмоционального перенапряжения.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

- Kong. *Int J Biometeorol.* 2015;59:373-76. doi:10.1007/s00484-014-0831-7.
8. He BJ, Wang J, Zhu J, et al. Beating the urban heat: Situation, background, impacts and the way forward in China. *Renew Sust Energ Rev.* 2022;161:112350. doi:10.1016/j.rser.2022.112350.
9. Lee YC, Chen YS, Chen AY. Lagrangian dual decomposition for the ambulance relocation and routing considering stochastic demand with the truncated Poisson. *Transp Res. B: Methodol.* 2022;157:1-23. doi:10.1016/j.trb.2021.12.016.
10. Wong HT, Lai PC. Weather inference and daily demand for emergency ambulance services. *Emerg Med J.* 2012;29(1):60-4. doi:10.1136/emj.2010.096701.
11. Zhang J, Gou Z, Cheng B, et al. A study of physical factors influencing park cooling intensities and their effects in different time of the day. *J Therm Biol.* 2022;109:103336. doi:10.1016/j.jtherbio.2022.103336.
12. Uyanaeva AI, Tupitsyna YuYu, Rassulova MA, et al. The influence of climate and weather on the mechanisms of formation of increased weather sensitivity (review). *Questions of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture. Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury.* 2016;93(5):52-7. (In Russ.) Уянаева А.И., Тупицына Ю.Ю., Рассулова М.А. и др. Влияние климата и погоды на механизмы формирования повышенной метеочувствительности (обзор). *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.* 2016;93(5):52-7. doi:10.17116/kurort2016552-57.
13. Cai J, Meng X, Wang C, et al. The cold effects on circulatory inflammation, thrombosis and vasoconstriction in type 2 diabetic patients. *Sci Total Environ.* 2016;568:271-77. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.06.030.
14. He BJ, Zhao D, Dong X, et al. Perception, physiological and psychological impacts, adaptive awareness and knowledge, and climate justice under urban heat: A study in extremely hot-humid Chongqing, China. *Sustain Cities Soc.* 2022;79:103685. doi:10.1016/j.scs.2022.103685.
15. Turner LR, Barnett AG, Connell D, et al. Ambient temperature and cardiorespiratory morbidity: a systematic review and meta-analysis. *Epidemiol.* 2012;23(4):594-606. doi:10.1097/EDE.0b013e3182572795.
16. Kuzmenko NV, Tsyrlin VA, Pliss MG, et al. Seasonal dynamics of myocardial infarctions in regions with different types of a climate: a meta-analysis. *Egypt Heart J.* 2022;74(1):84. doi:10.1186/s43044-022-00322-5.
17. Song X, Wang S, Hu Y, et al. Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: an overview of reviews. *Sci Total Environ.* 2017;586:241-54. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.01.212.
18. Moghadamnia MT, Ardalan A, Mesdaghinia A, et al. Ambient temperature and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *Peer J.* 2017;5:e3574. doi:10.7717/peerj.3574.
19. Chen K, Breithner S, Wolf K, et al. Temporal variations in the triggering of myocardial infarction by air temperature in Augsburg, Germany, 1987-2014. *Eur Heart J.* 2019;40(20):1600-08. doi:10.1093/eurheartj/ehz116.
20. Ebi KL, Capon A, Berry P, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet.* 2021;398(10301):698-708. doi:10.1016/S0140-6736(21)01208-3.
21. Sheffield PE, Landrigan PJ. Global climate change and children's health: treats and strategies for prevention. *Environ. Health Perspect.* 2011;119(3):291-98. doi:10.1289/ehp.1002233.
22. Chen R, Yin P, Wang L, Liu C, et al. Association between ambient temperature and mortality risk and burden: time series study in 272 main Chinese cities. *BMJ.* 2018;363. doi:10.1136/bmj.k4306.
23. Cheng HC, Pan RH, Yeh HJ, et al. Ambient air pollution and the risk of central retinal artery occlusion. *Ophthalmol.* 2016;123(12):2603-9. doi:10.1016/j.ophtha.2016.08.046.
24. Matsuzawa M, Sakanishi Y, Ebihara N. Seasonal variation in the occurrence of retinal vein occlusion: a 4-year cross-sectional study. *BMC Ophthalmol.* 2020;20:1-7. doi:10.1186/s12886-020-01534-6.
25. Togboev KT. Prognostic value of climatic and meteorological factors in the development of urgent therapeutic conditions. *Biology and Integrative medicine.* 2017;1:158-67. (In Russ.) Тогбоев К.Т. Прогностическое значение климатометеорологических факторов в развитии неотложных терапевтических состояний. *Биология и интегративная медицина.* 2017;1:158-67.
26. Tian Y, Liu H, Si Y, et al. Association between temperature variability and daily hospital admissions for cause-specific cardiovascular disease in urban China: a national time-series study. *PLoS Med.* 2019;16(1):e1002738. doi:10.1371/journal.pmed.1002738.
27. Yang J, Yin P, Sun J, et al. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: definition, vulnerability and implications. *Sci Total Environ.* 2019;649:695-702. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.332.
28. Wu K, Ho HC, Su H, et al. A systematic review and meta-analysis of intraday effects of ambient air pollution and temperature on cardiorespiratory morbidities: First few hours of exposure matters to life. *EBioMedicine.* 2022;86:104327. doi:10.1016/j.ebiom.2022.104327.
29. Luo K, Li R, Wang Z, et al. Effect modification of the association between temperature variability and daily cardiovascular mortality by air pollutants in three Chinese cities. *Environ Pollut.* 2017;230:989-99. doi:10.1016/j.envpol.2017.07.045.
30. Tsallagova RB, Kopitenkova OI, Makoeva FK, et al. Assessment of the health risk of the population with diseases of the circulatory system under adverse weather conditions. *Hygiene and sanitation.* 2020;99(5):488-92. (In Russ.) Цаллагова Р.Б., Копытенкова О.И., Макоева Ф.К., Наниева А.П. Оценка риска здоровью населения с болезнями органов кровообращения при неблагоприятных погодных условиях. *Гигиена и санитария.* 2020;99(5):488-92. doi:10.33029/0016-9900-2020-99-5-488-492.
31. Yao Y, Yin H, Xu C, et al. Assessing myocardial infarction severity from the urban environment perspective in Wuhan, China. *J Environ Manage.* 2022;317:115438. doi:10.1016/j.jenvman.2022.115438.
32. Sun Z, Chen C, Xu D, et al. Effects of ambient temperature on myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* 2018;241:1106-14. doi:10.1016/j.envpol.2018.06.045.
33. Wu Q, Yang M, Wu K, et al. Abnormal ambient temperature change increases the risk of out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis of exposure types, risk, and vulnerable populations. *Sci Total Environ.* 2023;861:160554. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.160554.
34. Cicci KR, Maltby A, Clemens KK, et al. High Temperatures and Cardiovascular-Related Morbidity: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(18):11243. doi:10.3390/ijerph191811243.
35. Furukawa Y. Meteorological factors and seasonal variations in the risk of acute myocardial infarction. *Int J Cardiol.* 2019;294:13-4. doi:10.1016/j.ijcard.2019.07.089.
36. Rowland ST, Boehme AK, Rush J, et al. Can ultra short-term changes in ambient temperature trigger myocardial infarction. *Environ Int.* 2020;143:105910. doi:10.1016/j.envint.2020.105910.
37. Koo GP, Zheng H, Pek PP, et al. Clustering of Environmental Parameters and the Risk of Acute Myocardial Infarction. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(14):8476. doi:10.3390/ijerph19148476.

38. Kobayashi S, Sakakura K, Jinnouchi H, et al. Influence of daily temperature on the occurrence of ST-elevation myocardial infarction. *J Cardiol*. 2022;21:S0914-5087(22)00322-7. doi:10.1016/j.jcc.2022.12.005.
39. Biondi-Zoccai G, Frati G, Gaspardone A, et al. Impact of environmental pollution and weather changes on the incidence of ST-elevation myocardial infarction. *Eur J Prev Cardiol*. 2021;28(13):1501-07. doi:10.1177/2047487320928450.
40. Styra D, Usovaite A, Damauskaite J, Juozulynas A. Leaps in cardiovascular diseases after a decrease of hard cosmic ray flux and atmospheric pressure in Vilnius city in 2004-2007. *Int J Biometeorol*. 2009;53:471-7. doi:10.1007/s00484-009-0234-3.
41. Ma P, Wang S, Chen L, et al. Independent influences of extreme atmospheric pressure on hypertension-related ER visits. *Air Qual Atmos Health*. 2020;13:1065-74. doi:10.1007/s11869-020-00859-x.
42. Danet S, Richard F, Montaye M, et al. Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths: A 10-year survey: The Lille-World Health Organization MONICA project (Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease). *Circulation*. 1999;100(1):e1-7. doi:10.1161/01.CIR.100.1.e1.
43. Kolyagina NM, Berezhnova TA, Mamchik NP, et al. Assessment of the relationship of exacerbations of diseases of the cardiovascular system with the meteorological situation. *Hygiene and sanitation*. 2021;100(12):1350-8. (In Russ.) Колягина Н.М., Бережнова Т.А., Мамчик Н.П. и др. Оценка связи обострений болезней сердечно-сосудистой системы с метеорологической обстановкой. *Гигиена и санитария*. 2021;100(12):1350-8. doi:10.47470/0016-9900-2021-100-12-1350-58.
44. Sarna S, Romo M, Siltanen P. Myocardial infarction and weather. *Ann Clin Res*. 1977;9(4):222-32. PMID: 616207.
45. Chen ZY, Chang SF, Su CL. Weather and stroke in a subtropical area: Ilan, Taiwan. *Stroke*. 1995;26(4):569-72. doi:10.1161/01.STR.26.4.569.
46. Lejeune JP, Vinchon M, Amouyel P, et al. Association of occurrence of aneurysmal bleeding with meteorologic variations in the north of France. *Stroke*. 1994;25(2):338-41. doi:10.1161/01.STR.25.2.338.
47. Houck PD, Lethen JE, Riggs MW, et al. Relation of atmospheric pressure changes and the occurrences of acute myocardial infarction and stroke. *Am J Cardiol*. 2005;96(1):45-51. doi:10.1016/j.amjcard.2005.02.042.
48. Boussoussou N, Boussoussou M, Entz L, et al. Occurrence of acute cardiovascular diseases under different atmospheric parameters. *Orv Hetil*. 2014;155(27):1078-82. doi: 10.1556/oh.2014.29926.
49. Radišauskas R, Bernotienė G, Vacevičienė M, et al. Trends of myocardial infarction morbidity and its associations with weather conditions. *Med*. 2014;50(3):182-9. doi:10.1016/j.medic.2014.08.003.
50. Plavcová E, Kyselý J. Effects of sudden air pressure changes on hospital admissions for cardiovascular diseases in Prague, 1994-2009. *Int J Biometeorol*. 2014;58:1327-37. doi:10.1007/s00484-013-0735-y.
51. Charach L, Grosskopf I, Karniel E, et al. Meteorological Paradox: Low Atmospheric Pressure-Associated Decrease in Blood Pressure Is Accompanied by More Cardiac and Cerebrovascular Complications: Five-Year Follow-Up of Elderly Hypertensive Patients. *Atmosphere*. 2022;13(2):235. doi:10.3390/atmos13020235.
52. Al-Rashid F, Totzeck M, Saur N, et al. Global longitudinal strain is associated with better outcomes in transcatheter aortic valve replacement. *BMC Cardiovasc Disord*. 2020;20(1):1-8. doi:10.1186/s12872-020-01556-4.
53. Kario K, Tomitani N, Kanegae H, et al. Development of a new ICT-based multisensor blood pressure monitoring system for use in hemodynamic biomarker-initiated anticipation medicine for cardiovascular disease: the national IMPACT program project. *Progr Cardiovasc Dis*. 2017;60(3):435-49. doi:10.1016/j.pcad.2017.10.002.
54. Pishchalnikov RY, Gurfinkel YI, Sarimov RM, et al. Cardiovascular response as a marker of environmental stress caused by variations in geomagnetic field and local weather. *Biomed Signal Process Control*. 2019;51:401-10. doi:10.1016/j.bspc.2019.03.005.
55. Podolská K. Changes of circulatory and nervous diseases mortality patterns during periods of exceptional solar events. *Atmosphere*. 2021;12(2):203. doi:10.3390/atmos12020203.
56. Vencloviene J, Antanaitiene J, Babarskiene R. The association between space weather conditions and emergency hospital admissions for myocardial infarction during different stages of solar activity. *J Atmos Sol-Terr Phys*. 2016;149:52-8. doi:10.1016/j.jastp.2016.09.012.
57. Kizny D, Vencloviene J, Milvidaitė I. The associations of geomagnetic storms, fast solar wind, and stream interaction regions with cardiovascular characteristic in patients with acute coronary syndrome. *Life Sci Space Res*. 2020;25:1-8. doi:10.1016/j.lssr.2020.01.002.
58. Bazhenov AA, Averina AS, Pripkop MV. The influence of heliogeophysical factors on human health. *Acta Biomedica Scientifica*. 2014;(6):125-9. (In Russ.) Баженов А.А., Аверина А.С., Прикоп М.В. Влияние гелиогеофизических факторов на здоровье человека. *Acta Biomedica Scientifica*. 2014;(6):125-9.
59. Stoupe E, Radishauskas R, Bernotiene G, et al. Blood troponin levels in acute cardiac events depends on space weather activity components (a correlative study). *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 2018;29(3):257-63. doi:10.1515/jbcpp-2017-0148.
60. Caswell JM, Carniello TN, Murugan NJ. Annual incidence of mortality related to hypertensive disease in Canada and associations with heliophysical parameters. *Int J Biometeorol*. 2016;60:9-20. doi:10.1007/s00484-015-1000-3.
61. Stienen MN, Smoll NR, Battaglia M, et al. Intracranial aneurysm rupture is predicted by measures of solar activity. *World Neurosurg*. 2015;83(4):588-95. doi:10.1016/j.wneu.2014.12.021.
62. Podolská K. Circulatory and Nervous Diseases Mortality Patterns-Comparison of Geomagnetic Storms and Quiet Periods. *Atmosphere*. 2022;13(1):13. doi:10.3390/atmos13010013.
63. Bazhenov AA, Pripkop MV, Averina AS, et al. Response of biological systems to geomagnetic disturbances. *Acta Biomedica Scientifica*. 2018;3(5):126-31. (In Russ.) Баженов А.А., Прикоп М.В., Аверина А.С. и др. Отклик биологических систем на геомагнитные возмущения. *Acta Biomed Sci*. 2018;3(5):126-31. doi:10.29413/ABS.2018-3.5.18.
64. Babayev ES, Allahverdiyeva AA. Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: some results of Azerbaijani studies. *Adv Space Res*. 2007;40(12):1941-51. doi:10.1016/j.asr.2007.02.099.
65. Khasnulin VI, Vilgelm VD, Voevoda MI, et al. Medical and ecological foundations of the formation, treatment and prevention of diseases in the indigenous population of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Izdatel'stvo SO RAN*. 2004: Novosibirsk 316 p. (In Russ.) Хаснулин В.И., Вильгельм В.Д., Воевода М.И. и др. Медико-экологические основы формирования, лечения и профилактики заболеваний у коренного населения Ханты-Мансийского

- автономного округа. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004; 316 с. ISBN: 5-93239-048-4.
66. Podolská K. The impact of ionospheric and geomagnetic changes on mortality from diseases of the circulatory system. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2018;27(2):404-17. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.017.
67. Khasnulin VI, Shurgaya AM, Khasnulina AV, et al. *Cardiometheopathy in the North.* Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN. 2000; 222 p. (In Russ.) Хаснулин В.И., Шургая А.М., Хаснулина А.В. и др. Кардиометеопатии на Севере. Новосибирск: СО РАН, 2000; 222 с. ISBN: 5-93239-013-1.
68. Overpeck JT, Meehl GA, Bony S, et al. Climate data challenges in the 21st century. *Science.* 2011;331(6018):700-2. doi:10.1126/science.1197869.
69. Taylor KE. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J Geophys Res: Atmos.* 2001;106(D7):7183-92. doi:10.1029/2000JD900719.
70. Chatzopoulou E, Carocho M, Di Gioia F, et al. The beneficial health effects of vegetables and wild edible greens: The case of the mediterranean diet and its sustainability. *Appl Sci.* 2020;10(24):9144. doi:10.3390/app10249144.
71. Calegari R, Fogliatto FS, Lucini FR, et al. Forecasting daily volume and acuity of patients in the emergency department. *Comput Math Methods Med.* 2016;2016:3863268. doi:10.1155/2016/3863268.
72. Whitt W, Zhang X. Forecasting arrivals and occupancy levels in an emergency department. *Oper Res Health Care.* 2019;21:1-18. doi:10.1016/j.orhc.2019.01.002.
73. Al-Azzani MA, Davari S, England TJ. An empirical investigation of forecasting methods for ambulance calls-a case study. *Health Syst.* 2021;10(4):268-85. doi:10.1080/20476965.2020.1783190.
74. Arora S, Taylor JW, Mak HY. Probabilistic forecasting of patient waiting times in an emergency department. 2020;00335. doi:10.2139/ssrn.3614760.