

Физика биологии и медицины

Правильная ссылка на статью:

Зенченко Т.А., Бреус Т.К. — Возможные причины нестабильности воспроизведения гелиобиологических результатов // Физика биологии и медицины. – 2023. – № 1. – С. 4 - 25. DOI: 10.7256/2730-0560.2023.1.39903
EDN: SVJODZ URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=39903

Возможные причины нестабильности воспроизведения гелиобиологических результатов

Зенченко Татьяна Александровна

ORCID: 0000-0002-0520-2029

доктор биологических наук

старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, старший научный сотрудник Института космических исследований Российской академии наук

142290, Россия, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, 3

✉ zench@mail.ru



Бреус Тамара Константиновна

доктор физико-математических наук

главный научный сотрудник Института космических исследований РАН

142290, Россия, Московская область, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

✉ breus36@mail.ru



[Статья из рубрики "Биофизика"](#)

DOI:

10.7256/2730-0560.2023.1.39903

EDN:

SVJODZ

Дата направления статьи в редакцию:

05-03-2023

Дата публикации:

08-06-2023

Аннотация: Одной из основных причин, по которой существование эффекта влияния космической погоды на живые организмы на протяжении многих лет вызывало скептицизм среди представителей академической науки, является недостаточная, по критериям современной физики, стабильность воспроизведения гелиобиологического

эффекта. Признаками нестабильности являются сильная вариабельность характеристик получаемых результатов: амплитуды, временного лага, и даже знака эффекта. В работе сформулирована и обоснована гипотеза, что эта нестабильность обусловлена в первую очередь методологическими причинами: существующие подходы, традиционные для физики и биологии XX века, плохо пригодны для исследования сложной многоуровневой системы солнечно-биосферных связей. На конкретных примерах показано, что новые методологические принципы, как уже частично вошедшие в некоторые гелиобиологические исследования в последние 10 лет, так и вновь сформулированные в данной работе, позволяют в значительной мере снизить процент необъяснимых невоспроизводимых результатов. Показано, что необходим учет таких специфических особенностей гелиобиологического эффекта, как индивидуальный характер реакции на космическую погоду, зависимость эффекта от фазы цикла солнечной и геомагнитной активности и от масштаба дискретизации экспериментальных данных, учет возможного вклада метеорологических факторов, а также существование разных типов ответа биологической системы на разных временных масштабах.

Ключевые слова:

солнечно-биосферные связи, гелиобиология, космическая погода, магниточувствительность человека, сердечно-сосудистая система, метеочувствительность сердечного ритма, геомагнитное поле, солнечная активность, ритмические биосферные процессы, гелиобиологический эффект

Введение

Гелиобиологией называется научное направление, изучающее закономерности солнечно-биосферных связей. Из разрозненных наблюдений отдельных естествоиспытателей в серьезную науку гелиобиология оформилась в 20-е гг. XX века в работах русского ученого Александра Леонидовича Чижевского, который с тех пор считается ее основоположником.

Сформулированное им открытие ученый и поэт А.Л.Чижевский отражал в образных названиях написанных им книг: "Земля в объятиях Солнца", "Космический пульс жизни", "Земное эхо солнечных бурь". Суть открытия заключалась в том, что буквально все процессы на Земле, протекающие в живой природе, в атмосфере, гидросфере, литосфере и т.д. испытывают на себе действие солнечной активности. Такое заключение с неизбежностью напрашивалось из-за присутствия в этих процессах 11-летних циклов, давно известных в динамике солнечной активности.

Чижевский приводит длинный перечень таких процессов: "К настоящему времени следующие физические явления на Земле поставлены в причинную зависимость от степени напряженности солнечной активности:

1. Напряженность земного магнетизма. Магнитные бури (Lamont. 1850; Sabin, Catur, Wolf. 1852), а также и частота магнитных бурь.
2. Частота полярных сияний (Fritz, 1863; Loomis).
3. Частота появления перистых облаков (Klein), их радиация (А. Моисеев).
4. Частота появления галосов и венцов вокруг Солнца и Луны (Messerschmidt, Моисеев, 1917).

5. Количество ультрафиолетовой радиации (Dobson, 1924; Pettit).
6. Количество радиоактивной эманации в воздухе (Bongards, 1923).
7. Степень ионизации верхних слоев атмосферы (Schuster. Pieard, Austin, 1927). Изменения электрической оболочки атмосферы, радиоприема, слышимости и т. д.
8. Колебания напряженности атмосферного электричества (Wislicinus, 1872; Chree, Bauer).
9. Частота и интенсивность грозовой деятельности (Lenger. 1887; Hess, Д. Святский, А. Моисеев, 1920).
10. Количество озона в воздухе (Moffat, 1876; Dobson, Harrisson, Lowrens).
11. Количество космической пыли в воздухе (Busch, Arrhenius, Berberich) и др. и окраска неба (Busch).
12. Количество тепловой радиации (инсоляции) (Савельев, 1884, 1905—1920).
13. Температура воздуха у поверхности Земли и воды морей (Gautier. 1844; Köppen, Fröhlich, Flammarion, Ricco, Nordmann, Langley, M. Dowall, Meisner Mielke, Terada и др.).
14. Давление воздуха (Broun, Archibald, Lockyer, Лейст, Walker, Clayton, Федоров и др.).
15. Частота бурь, ураганов, смерчей (Meldrun, 1872; Rocy, Reich, Kawazoe-Mampeï, Myrbach, m-me Flammarion, Kulmer).
16. Количество осадков (Meldrun, Lockyer, Symons, Archibald, Hill, Kassner, Huntington, Moreux, Шостакович и др.), частота градобитий (Fritz) и число полярных айсбергов.
17. Высота уровня озер (Moreux, Wallen, Визе, Святский, Шостакович и многие другиѐ." [\[1\]](#).

Второй приводимый перечень включает явления в биосфере, для которых была ранее обнаружена связь с периодической деятельностью Солнца, а также электричеством и магнетизмом Земли:

- "1. Величина урожая кормовых злаков (Sir, W. Herschel, 1801; Clarce, Danson, Fritz, Show, Hunter, Endstrom, Flammarion, М. Семенов, Б. Ястремский).
2. Количество и качество добываемого вина (Sartorius, Н. Fritz, 1878; Memery, Lackowsky).
3. Рост древесины (толщина годовых колец) (Lem-strom, Helland-Hansen, Nansen, Huntington, Douglass).
4. Время зацветания растений (Marchand, Flammarion, Nansen, Helland-Hansen).
5. Пышность цветения растений (Belot, 1927).
6. Эпифитии (Чижевский, 1927).
7. Размножаемость и миграции насекомых (Кеппен, 1870; Fritz, Hahn, Giard).
8. Размножаемость и миграции рыб (Nansen. Helland-Hansen, 1909; Шостакович). Количество икры в печени некоторых рыб.

9. *Время весеннего прилета (миграции) птиц (Marchand, Flammarion, Moreux, Шостакович).*
10. *Размножаемость и миграции животных (грызунов, пушных) (Туркин, 1900; Simrotti. 1907).*
11. *Продолжительность стойлового содержания скота (Ястремский, 1926).*
12. *Эпизоотии, падеж скота (Чижевский, 1927).*
13. *Качество кальция в крови (H. et R. Bakwin).*
14. *Частота поражений человека ударами молнии и частота пожаров от молнии (Bondin, O. Steffens, 1904).*
15. *Колебания веса младенцев (Жуков, 1928)". [\[1\]](#).*

Из приведенных перечней можно увидеть, во-первых, насколько давно и широко естествоиспытателей интересовал вопрос о возможном влиянии ритмики Солнца на земные процессы: в списке упоминаются научные работы с середины XIX века. Также можно оценить широту охвата природных явлений, для которых такая связь наблюдается, от полярных сияний и ураганов, динамики высоты озер и прилета птиц до состава крови человека и веса новорожденных младенцев.

В эти собранные и систематизированные перечни известных к тому времени научных наблюдений Чижевский включил и обнаруженные им самим многолетние закономерности, в частности, возникновения больших эпидемий. Несколько примеров из его книги приведены на рисунках 1-3.

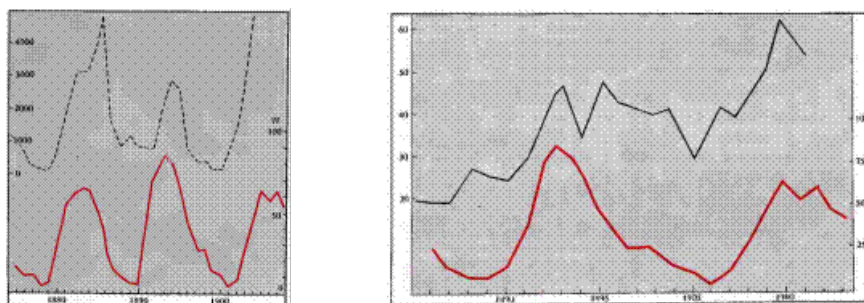


Figure 1. - Diphtheria in Elizavetgrad uyezd (dotted line) and solar activity (red line) [\[1\]](#). Figure 2. - Diphtheria throughout Russia (upper curve) and solar activity (red line) from 1886 to 1908. The diphtheria curve is shifted two years to the left [\[1\]](#).

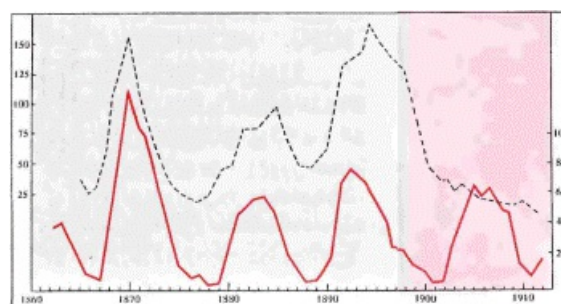


Figure 3. - Relationship between diphtheria incidence (thin curve) and solar activity in Denmark. The diphtheria curve is shifted five years to the right. The spontaneous course of the epidemic was stopped by the human mind: the pink sector (since 1894) - the

introduction of serotherapy.^[1]

Однако внимательный анализ приведенных рисунков выявляет одну особенность: рассматриваемые процессы действительно обладают яркой 10-11 летней периодичностью, но вот их фазы при сопоставлении с ходом солнечной активности различаются. Например, на рисунке 1 наблюдается совпадение моментов экстремумов в двух рядах, на рисунке 2 для совмещения моментов максимумов одна кривая смещена относительно другой на 2 года, а на рисунке 3 сдвиг фазы составляет пять лет, т.е. процессы идут практически в противофазе.

Чижевский описывает это явление таким образом: *"Изучая различные проявления органической жизни в наших других изысканиях, мы должны были прийти к выводу, что помимо зависимости органического мира от периодических колебаний солнцедельности существуют еще некоторая взаимосвязь и известные взаимодействия различных областей биосферы между собою, регулируемые этой солнечной периодичностью. Так, например, колебания урожайности, произрастания семян, роста древесины хотя и стоят в тесной связи с деятельностью Солнца, но для различных местностей обнаруживают различные отклонения со сдвигом точек максимумов и минимумов в ходе кривой в различные стороны, а иногда давая явный контрпараллелизм. Аналогичного рода явления наблюдаются и в распределении некоторых эпидемий во времени и пространстве, что мы и видели выше."*^[1]

Таким образом, уже сам основатель гелиобиологии в начале XX века писал о том, что при изучении связи различных биосферных показателей с солнечной активностью мы заведомо не сможем вывести из наблюдений, выполненные в одной области Земли, перенести на другие регионы. В какой-то момент устойчиво наблюдаемая синхронность вдруг пропадала (Рис. 3), и далеко не всегда удавалось найти возможные причины этой рассинхронизации.

Так была обнаружена и сформулирована основная проблема исследования солнечно-биосферных зависимостей, а именно их недостаточная, с точки зрения классической физики, универсальность и воспроизводимость.

Существовали и другие серьезные претензии к гелиобиологическим исследованиям со стороны классической академической науки, которые оставались актуальными в течение всего XX века. Во-первых, не удавалось точно воспроизвести наблюдаемые эффекты в лабораторных условиях. Проблема заключалась в том, что имитация в лаборатории всего сложного комплекса взаимосвязанных факторов космической погоды, сопровождающих, например, развитие магнитной бури, была и остается до настоящего времени задачей невыполнимой. Поэтому постановка экспериментов была редуцирована до исследований влияния на живые объекты одного физического фактора из этого комплекса, а именно переменного магнитного поля низкой интенсивности. Эти эксперименты давали положительные результаты, но с существенными оговорками: для получения устойчивого магнитобиологического ответа требовались либо повышенные (по сравнению с природными) амплитуды переменной составляющей магнитного поля, либо многократные, в течение нескольких дней, периодические экспозиции поля, т.е. необходимо было накопление эффекта^[2-5].

Конечно, попытка заменить сложный взаимосвязанный комплекс солнечно-магнитосферных факторов, называемый космической погодой, одним монохромным сигналом магнитного поля определенной частоты и амплитуды были, с точки зрения методологии, весьма наивными. Но отсутствие удачных экспериментов по стабильному

воспроизведению в лаборатории наблюдаемых эффектов магнитной бури вызывало серьезный скептицизм у физиков.

Третья претензия к гелиобиологии со стороны официальной науки заключалась в том, что у современной физики не было теоретических моделей, способных удовлетворительно объяснить механизм значимого влияния на живые системы столь низкоинтенсивных физических факторов, каким являлись вариации геомагнитного поля или космических частиц.

Существование этих претензий к результатам и выводам гелиобиологии приводило к ситуации, когда исследователи, не имея возможности прямо опровергнуть высказанную критику, снова и снова занимались поисками подтверждения существования гелиобиологического эффекта. Расширялся список объектов, для которых был обнаружен эффект, увеличивалась частота наблюдений - от ежегодных данных к месячным, суточным и даже минутным, увеличивались объемы выборок и длины рядов наблюдений. Однако принципиально ситуация не менялась: гелиобиологический эффект, во-первых, обнаруживался при всех формах организации наблюдений, во-вторых, оставался недостаточно стабильным, т.е. обнаруживался не всегда.

Такое противостояние продолжалось практически в течение ста лет: с одной стороны были многочисленные результаты наблюдений ученых-гелиобиологов, а также многолетний опыт практикующих врачей-биоклиматологов и кардиологов, видевших и учитывавших в своей работе неблагоприятные эффекты космической погоды. С другой - скептицизм "академических" ученых, в первую очередь физиков, раз за разом приводивших перечисленные выше аргументы против существования значимых солнечно-биосферных связей: недостаточная воспроизводимость наблюдаемых эффектов, невозможность их точного воспроизведения в лабораториях, отсутствие теоретических моделей влияния сверхслабых факторов.

Однако в последнее десятилетие гелиобиология сумела серьезно продвинуться в решении двух из вышеупомянутых противоречий: появились физические теоретические модели, описывающие возможные механизмы действия крайне слабого переменного магнитного поля, сравнимого по амплитуде с земным, на живые организмы [\[6,7\]](#). Так же были опубликованы результаты экспериментов с записанными и воспроизведенными в лаборатории магнитными бурями, экспозиция в которых живых организмов давала устойчиво воспроизводимые эффекты [\[8-10\]](#). Таким образом, можно заключить, что к настоящему моменту и теоретически и экспериментально показано, что магнитные поля столь низкой интенсивности вполне могут оказывать влияние на живые системы.

В то же время, факт нестабильности гелиобиологических эффектов традиционно рассматривался исследователями как следствие несовершенства экспериментальной базы и методики анализа: погрешностей сбора медицинских данных, неоптимального выбора параметров космической погоды, характеризующих ее биотропность, неэффективности выбранных математических методов анализа.

Например, в литературе существует очень большое количество исследований, посвященных эффекту "Скорой помощи", когда во время магнитных бурь наблюдалось увеличение числа обращений в больницы по поводу острых сердечно-сосудистых осложнений и даже увеличения случаев внезапной смерти. Но при сравнении конкретных характеристик эффекта **I** какова его амплитуда, на какой день от начала бури наблюдается максимальное повышение заболеваемости **I** наблюдались значительные расхождения между результатами разных авторов. Среди возможных причин таких

расхождений обсуждалось, например, некорректно поставленный диагноз или неточность даты начала заболевания: например, был ли инфаркт, диагностированный врачом Скорой помощи, подтвержден уже в больнице; произошел ли он в день вызова Скорой или в предшествующие дни. Постепенно эти, реально существовавшие, недостатки, были устранены, в методику сбора данных были добавлены соответствующие уточнения, однако разнонаправленность эффекта от этого не исчезла.

Другой наглядный пример попытки снизить нестабильность гелиобиологических результатов за счет улучшения методических моментов относится к клиническим исследованиям динамики уровня артериального давления (АД) у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы. Врачи, проводившие исследования, уделяли большое внимание тому, чтобы группы пациентов были однородными по полу, возрасту, анамнезу, сроку заболевания, поскольку эти, традиционные для медицины, критерии отбора пациентов считаются принципиально важными для надежности результата. Однако в случае гелиобиологических исследований это помогало слабо: даже при соблюдении критериев отбора групп пациентов, однотипные исследования, проведенные в разное время или в разных местах, очень часто показывали различия в результатах. Например, эффект увеличения уровня АД наблюдался только у некоторой (переменной по величине) части экспериментальной группы, или момент наступления максимума реакции отличался по времени сдвига от начала магнитной бури. Иногда наблюдали даже разные знаки реакции: в одном исследовании значения росли, а в другом нет.

Например, в двух однородных группах здоровых волонтеров (86 чел в Болгарии [\[11\]](#) и 51 чел в Мексике [\[12\]](#)) исследовали возможные изменения показателей артериального давления в периоды сильных магнитных бурь. По заключениям авторов, в первом случае подъем среднегруппового уровня АД был достаточно длительным и наблюдался от -1 до 2 дня относительно дня начала бури, а во втором наибольшее увеличение систолического АД наблюдалось за два дня до и один день после этого шторма.

Значительные разногласия в заключениях о конкретных характеристиках эффекта наблюдаются при исследовании реакции частоты сердечных сокращений в ответ на явления космической погоды [\[13-15\]](#).

Чтобы как-то объяснить такое различие результатов, обычно в конце каждой конкретной статьи авторы высказывали предположение, что существуют какие-то еще, неучтенные ими факторы, которые отличают их исследование от других и приводят к вариабельности наблюдаемого ими гелиобиологического эффекта.

Наконец, третий характерный пример попыток преодоления нестабильности касается методических подходов к анализу данных. Долгое время в литературе встречались случаи некорректного использования традиционных статистических и спектральных методов, что вызывало у математиков справедливую критику и сомнение в получаемых результатах. Самой распространенной ошибкой было вычисление коэффициента корреляции для временных рядов, не удовлетворяющих необходимым критериям стационарности данных, т.е. содержащих низкочастотные тренды или периодические колебания, без предварительного их устранения. Со временем подобные ошибки применения традиционных методов постепенно исчезли, а также появились новые алгоритмы анализа, разработанные специально для гелиобиологических задач, однако все эти усовершенствования не решили проблемы нестабильности результатов.

Таким образом, несмотря на значительное совершенствование методологии сбора

экспериментальных данных, кардинальное увеличение объема экспериментальных выборок и разнообразия видов наблюдений, разработку все новых математических алгоритмов анализа, всерьез приблизиться к разгадке причин нестабильности эффекта не удавалось.

На самом деле, основная причина вариабельности гелиобиологического эффекта была сформулирована еще Чижевским: *"Сложность анализа эпидемиологических явлений заключается в сложности анализа общей, едино-слитной системы биосферы, жизнедеятельность и взаимосвязь различных функций которой нам представляются еще в более туманных контурах"*. [\[1, стр. 233\]](#).

Другими словами, начиная с XVII века, базовый подход физики к изучению природы опирается на прием построения идеализированных рабочих моделей изучаемого закона или процесса: ученому необходимо на начальном этапе своего исследования включить в модель значимые, по его мнению, элементы системы и исключить незначимые. И этот прием относится не только к теоретическим построениям, но и к экспериментам.

Система солнечно-геосферно-биосферных связей оказалась слишком сложной для традиционных методологических подходов естествознания XX века, и попытки построить рабочую модель в этих рамках приводили к тому, что в число ее значимых элементов не попадали критически важные факторы или связи.

Несколько таких факторов было обнаружено чисто эмпирически в последние три десятилетия в процессе развития гелиобиологической науки. В том числе при активном участии и нашей группы, были выявлены и подтверждены несколько аспектов, специфических именно для гелиобиологических исследований:

- 1) Индивидуальный характер реакции: анализ индивидуальных данных дает намного более самосогласованные и логичные результаты, чем традиционно принятый в медицине средне-групповой подход. Операция усреднения по группе в значительной степени скрывает гелиобиологический эффект.
- 2) Обязательность одновременного учета действия факторов земной и космической погоды: эти два класса факторов воздействуют на одни и те же системы организма, и их сочетание может как усиливать, как и ослаблять гелиометеотропный эффект.
- 3) Учет временного фактора, т.е. фазы ритмических гелиофизических процессов, причем в любом масштабе времени: 11-летнего солнечного цикла, среднего уровня геомагнитной активности в период проведения наблюдений, на внутрисуточном масштабе | соотношение фаз магнитной бури и суточной геомагнитной вариации.

Рассмотрим их подробнее.

Новые методологические подходы

1. Индивидуальный характер реакции

Долгое время в науке, в том числе и в гелиобиологии, для выявления систематических изменений и нивелирования шумовых эффектов использовался метод усреднения некоторого параметра по выборке исследуемых объектов. Именно в рамках этого подхода были выполнены упомянутые выше эксперименты по изучению реакции артериального давления здоровых людей на магнитные бури.

Однако около 30 лет назад был выдвинут и обоснован тезис о том, что

"гелиометеотропные реакции у разных людей могут быть различными" [16]. До этого момента традиционно, "по умолчанию", предполагалось, что люди (или животные) одного пола, возраста и медицинского статуса должны показывать сходную реакцию на действие одинакового внешнего фактора, и в частности, элементов космической или земной погоды. Это базовое предположение позволяло исследователям объединять испытуемых в группы и определять параметры средне-групповой реакции. Однако результаты, описанные В.Н. Шеповальниковым и С.И. Сороко, четко показали неэффективность такого подхода в гелиобиологии. «Реально существующий спектр метеотропных реакций индивидов оказывается гораздо шире «средних» реакций, выведенных на основании сложения показателей разных людей. При этом за счет большинства полностью исчезает представление об отличающихся формах связи физиологических параметров с метеоземными элементами у меньшинства, а, с другой стороны, данные меньшинства не вписываются в общую систему, вносят искажения в данные большинства» [16, стр. 142].

Это открытие позволило объяснить, почему попытки выявления средне-групповых реакций на факторы космической погоды в некоторых случаях давали статистически значимые результаты, а в других показывали отсутствие реакции.

На рисунке 4 приведены результаты анализа индивидуальной реакции 86 молодых (18-20 лет) здоровых женщин на действие геомагнитной активности. У каждой участницы измеряли артериальное давление, систолическое (САД) и диастолическое (ДАД), а также частоту сердечных сокращений (ЧСС) ежедневно в течение 100 дней. Тех, у кого коэффициент корреляции между ежедневными значениями уровня АД и показателем Кр уровня геомагнитной активности был статистически значимым, считали магниточувствительными; таких оказалось в данной группе 25%. Для них вычисляли также параметр "амплитуды реакции" I — относительный размах значений АД и ЧСС, наблюдаемых при высоких и при низких значениях уровня геомагнитной активности. На рисунке 4 величины индивидуальных изменений АД и ЧСС даны в долях от максимально наблюдаемого разброса значений для данного испытуемого.

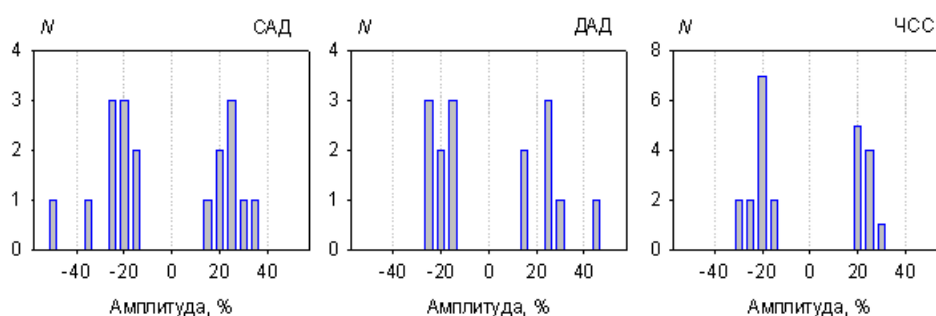


Figure 4. - Distribution of response amplitudes of systolic and diastolic blood pressure and heart rate indicators to an increase in the level of geomagnetic activity for magnetically sensitive volunteers (observation data provided by P.E. Grigoriev).

Из гистограмм рисунка 4 видно, что, во-первых, относительная величина изменения АД, потенциально обусловленная изменением уровня геомагнитной активности, составляет 20-40% от максимального наблюдаемого размаха данного параметра. Для ЧСС эти изменения составляют 20-30%. Во-вторых, относительное количество людей, у которых при изменении уровня геомагнитной активности уровень АД и ЧСС повышается, и у которых этот уровень понижается, оказывается практически одинаковым. Очевидно, что математическая операция поиска усредненного эффекта по этой, достаточно большой группе, дала бы нулевой эффект.

В другом случае очень близкое по дизайну исследование [\[17\]](#) показало, что значимая реакция показателей АД на изменение геомагнитной активности наблюдается у 53% испытуемых, т.е. процент магниточувствительных людей в этой группе примерно в два раза больше, чем в исследовании на рисунке 4. Но главное, в случае [\[17\]](#), у всех участников она имеет один и тот же знак, т.е. у всех испытуемых при возрастании уровня геомагнитной активности уровень АД растет. Если к результатам этого эксперимента применить классический метод усреднения по группе, мы получим статистически значимый эффект возрастания средне-группового уровня АД в день магнитной бури.

Из приведенных примеров следует, что в гелиобиологии везде, где это позволяют объемы полученных массивов данных, предпочтителен индивидуальный подход, с последующим объединением однотипных реакций в группы и вычислением относительной доли каждого типа. В этом случае "среднегрупповая" реакция автоматически вытекает, как сумма, из множества индивидуальных, но при этом сохраняется информация о "внутренней структуре" множества, а не только о результирующей сумме. Основным недостатком индивидуального подхода является его значительно большая трудозатратность, чем в случае среднегруппового, однако неверным было бы утверждение, что первый в чем-то менее точен, чем второй.

2. Комплексное влияние погоды земной и космической

Вторым важным методологическим моментом, который долгое время не учитывался в гелиобиологических исследованиях, является комплексное действие на человека факторов земной и космической погоды.

Исторически получилось так, что гелиобиология и биометеорология (или, другое название, "климатофизиология") долгое время двигались практически независимо друг от друга. Врачи-биометеорологи изучали влияние на организм пациентов волн жары и холода, циклонов, барических минимумов, а из космических факторов рассматривался только ультрафиолет [\[18\]](#). Гелиобиологи же, начиная с Чижевского, искали эффекты солнечных вспышек, магнитных бурь, сильных протонных событий, Шумановских резонансов и т.д., что подробно описано в обзоре [\[19\]](#). И только с начала 80х гг. множество факторов земной и космической погоды стали постепенно объединять в рамках некоторых исследований, появился термин "гелиометеотропный эффект" [\[20\]](#). Однако такое объединение выполнялось механически, путем простого объединения двух списков параметров. Кроме того, до настоящего времени встречаются исследования, в которых рассматривается возможное влияние только гелиогеофизических факторов.

В то же время проблема учета возможного одновременного влияния земной и космической погоды на биосистемы содержит два важных аспекта.

Первый – связь динамики гелиофакторов и метеофакторов. Чижевский, обнаружив явление синхронизации солнечных и земных процессов, сформулировал эту проблему таким образом: *"Влияет ли космическая погода непосредственно на живые организмы (например, через вариации геомагнитного поля, потоки вторичных энергетических частиц от галактических или солнечных космических лучей, и т.д.) или атмосферные факторы служат промежуточным звеном в этой цепочке?"* [\[1\]](#).

На больших масштабах времени, сравнимых с длиной солнечных циклов, такая связь была показана многократно [\[1,21-23\]](#).

В недавнем исследовании [24] подробно рассматривается возможная связь аномальных волн жары на американском континенте в 1910, 2012 и 2015 гг. с генерируемыми Солнцем особыми космическими плазменными структурами, вызывающими очень сильные магнитные бури. Следовательно, можно говорить о том, что и на суточном масштабе рассмотрения экстремальные явления космической погоды могут быть причиной экстремальных атмосферных событий. В то же время, на современном уровне представлений, ежедневные не-экстремальные вариации геомагнитных и метеорологических параметров могут рассматриваться как независимые друг от друга. Однако нельзя исключать ситуации, что динамика ежедневных значений метеорологических и геофизических параметров окажется статистически зависима на интервале наблюдений по чисто случайным или неизвестным пока причинам [16]. В этом случае такую связь необходимо учитывать и исключать алгоритмически при анализе результатов [25,26].

С другой стороны, оба эти класса внешних факторов влияют в организме человека на одни и те же системы, несмотря на то, что первичные мишени воздействия и физические механизмы наверняка различаются. Однако в результате на оба класса факторов организм одновременно формирует реакцию в зависимости от своего внутреннего состояния и от степени интенсивности внешнего воздействия [27,28]. Другими словами, на магнитную бурю зимой и на магнитную бурю летом организм человека реагирует, находясь на различных уровнях стресса, обусловленного уровнем температуры воздуха, длительностью светового дня, пониженным сезонным уровнем важных гормонов, и т.д.

Таким образом, любая, даже самая простая рабочая модель гелиобиологических связей должна включать не только факторы космической погоды и параметры биологической системы, но и с обязательностью, основные метеофакторы. Исключение последнего компонента практически гарантирует значительные ошибки в выводах.

3. Фактор фазы гелиогеофизической ритмики

В гелиобиологических исследованиях многие авторы обращали внимание на то, что на фазе подъема и на фазе спада цикла солнечной активности гелиобиологические эффекты выглядят по-разному [13, 29-32]: например, на фазе подъема наблюдается прямая статистически значимая зависимость между биологическим показателем и параметрами солнечной активности, а на других фазах эффект либо не наблюдается, либо даже имеет противоположный знак. К сожалению, объединение работ, в которых сообщается о подобных явлениях, не позволяет синтезировать их результаты, поскольку они выполнены для различных физиологических показателей и при различных схемах постановки экспериментов. При этом масштаб основного цикла солнечной активности слишком велик, чтобы проведенные наблюдения можно было повторить и проверить в аналогичных условиях 11 лет спустя, а точнее, 22 года спустя, поскольку полный солнечный цикл составляет именно 22 года. За это время сильно изменяется и состояние испытуемых, и погодные условия. Да и характеристики разных циклов сильно отличаются. Поэтому каждое такое исследование остается уникальным и в методологическом смысле не подтвержденным. Но здесь важно отметить, что представление о важности учета фазы солнечного цикла присутствует в гелиобиологии уже давно.

В последние два десятка лет были получены результаты, подтверждающие эту мысль, на меньших временных масштабах. Оказалось, что процент магниточувствительных людей в популяции в сильной степени зависит от среднего уровня геомагнитной активности в

период проведения наблюдений [33]. Если сравнить результаты анализа трех групп волонтеров, из Софии (77 чел) [34], Сыктывкара (27 чел) [17] и Симферополя (63 чел.), то оказывается, что процент случаев магниточувствительности для измерявшихся в период максимума геомагнитной активности составил 52% для Софии и 48% для Сыктывкара, в период минимума – 24% для Симферополя (Рис. 5).

Однако эти группы отличаются друг от друга не только процентом магниточувствительных людей, но также и знаками реакции: распределение для Симферополя представлено на рисунке 4, а для групп Софии и Сыктывкара все без исключения обнаруженные корреляции имели положительный знак, т.е. показатель АД увеличивался при возрастании уровня геомагнитной активности.

На рисунке 6 приведено распределение по времени начала реакции для этих трех групп. В Софии и Сыктывкаре подавляющее большинство случаев реакции развивались непосредственно в день начала геомагнитного возмущения, а в случае Симферополя какого-либо достоверного максимума не наблюдается.

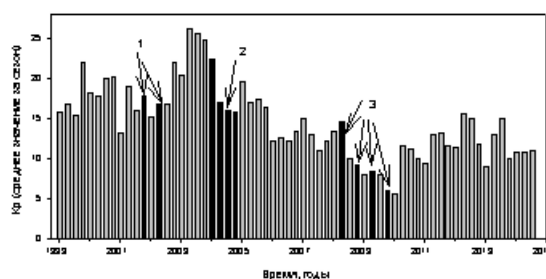


Figure 5. - Histogram of the Kp-index showing average seasonal values. Black columns are obtained statistically Kp values during the periods of significant correlation measurements: (1) in Sofia, (2) in Syktivkar, (3) in Simferopol.

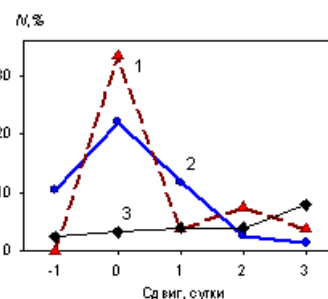


Figure 6. - Distribution of all coefficients of SBP with the Kp-index according to the shift time between them. Designations as in Fig.5

Из приведенного примера трех групп видно, что введение в рассмотрение параметра средней геомагнитной активности в период измерений позволяет объяснить различия, которые наблюдаются в группе Симферополя по отношению к двум остальным. Учет этого фактора также позволил объяснить, почему при исследовании среднегруппового показателя АД в некоторых случаях эффект не наблюдается.

Третий пример важности учета фазы цикла геомагнитной активности относится уже к внутрисуточному масштабу, и позволяет объяснить, почему многократно наблюдаемая в разных исследованиях эффективность магнитных бурь может существенно отличаться. В работах [9] изучали действие ранее записанного трехкомпонентного сигнала геомагнитной бури на морфологические параметры морских животных и рыб при двух постановках эксперимента: первый – в условиях синхронизации главной фазы имитированной магнитной бури с фазой суточной геомагнитной вариации, второй – в условиях десинхронизации, когда сдвиг между фазами составлял 12 час. Было обнаружено, что результат эксперимента в сильной степени зависит от величины сдвига фаз: в условиях десинхронизации эффект наблюдался на обеих выборках объектов, и для плотвы, и для прудовиков, а в ситуации синхронности изменения биохимических параметров были незначительными и статистически недостоверными.

Близкий по смыслу результат, когда амплитуда наблюдаемого эффекта зависела от соотношения фаз искусственной магнитной бури и суточной геомагнитной вариации, наблюдался в работе [\[10\]](#).

По мнению [\[35\]](#), результаты этих двух исследований (и на гидробионтах, и на человеке), экспериментально подтверждают гипотезу о том, что геомагнитные бури воспринимаются организмом как нарушение регулярных флуктуаций суточной вариации геомагнитного поля, т.е. регулярные изменения геомагнитных и солнечных факторов служат времядатчиком для живых организмов, отличным от смены дня и ночи. Такая гипотеза высказывалась многократно за несколько десятилетий до того [\[35, 36 и ссылки в них\]](#), но в данных исследованиях это впервые было подтверждено экспериментально.

Для нас же в данном исследовании важную роль играет тот факт, что и внутри суточного масштаба, и при суточной частоте дискретизации данных, и при сравнении с фазой 11-летнего цикла солнечной активности получаемые результаты в значительной степени зависят от положения момента проведения наблюдений относительно фазы базового гелиогеофизического ритма.

Приведенные выше примеры показывают, что включение в анализ дополнительных параметров (индивидуального статуса реакции, метеофакторов и фазы геомагнитного или солнечного цикла), в значительной степени проясняет некоторые ситуации исчезновения эффекта или смены его знака. Другие случаи невоспроизводимости, не приведенные здесь, так же получали свое непротиворечивое объяснение с учетом трех рассмотренных параметров. В то же время можно обоснованно предполагать, что описанные примеры - это только некоторая часть решения проблемы нестабильности гелиобиологических результатов.

4. Гипотеза

Главное условие понятия "воспроизводимости", применяемое в традиционной физике к научному результату в том, что при воспроизведении "прочих равных условий" он должен быть повторен любым другим исследователем. И здесь при анализе гелиобиологических результатов предметом сомнений и дискуссий становится вопрос точности выполнения принципа "прочих равных условий".

Приведенные выше примеры подтверждают предположение, что практически неустраняемая нестабильность гелиобиологического эффекта обусловлена в первую очередь не методическими ошибками экспериментаторов, а более глубокими методологическими проблемами "не-включения" в рабочую модель системы критически важных факторов.

Сложность же заключается в том, что эти факторы, входящие в виде ключевых параметров в систему солнечно-биосферных связей, во-первых, до настоящего времени до конца не известны, во-вторых, зависимость эффекта от каждого из них характеризуется изменчивостью, причем по неизвестному заранее закону.

Чтобы как-то приблизиться к решению сформулированной проблемы, необходимо сначала систематизировать уже известные гелиобиологические эффекты. Эта задача сама по себе очень объемна и многофакторна, поскольку, как было упомянуто выше, такие эффекты наблюдаются на всех уровнях организации биосистем, от клетки до человеческих популяций.

Для относительно небольшой области гелиобиологических результатов, а именно для

класса эффектов влияния космических факторов на здоровье и самочувствие человека, такая систематизация была выполнена согласно трем заранее выбранным критериям [\[33\]](#):

- 1) временной масштаб дискретизации данных (минуты, часы, сутки, годы);
- 2) уровень организации исследуемой биологической системы (клетка, отдельный орган, система организма, индивидуум, группа индивидуумов, популяция);
- 3) степень ответа биосистемы (норма, адаптация, болезнь (или срыв адаптации), смерть (разрушение биосистемы)).

В результате проведенной систематизации стало понятным, что если рассматривать три выбранных критерия как оси в некотором трехмерном пространстве, то существующие в литературе исследования гелиобиологического эффекта расположены в нем не хаотично: они плотно заполняют некоторую область, вытянутую вдоль биссектрисы угла. Таким образом, на практике все выбранные для систематизации параметры тесно связаны: чем крупнее рассматриваемый масштаб времени, тем выше уровень организации биологической системы, для которой наблюдаются эти эффекты, и сильнее степень ее ответа.

Так, с использованием годовой дискретизации данных встречаются исследования исключительно популяционных массивов данных по заболеваемости и смертности, т.е. двум самым сильным степеням ответа системы.

Для этого масштаба в качестве параметров космической погоды наиболее удобны индексы числа солнечных пятен, поскольку они отражают самый общий параметр - глобальную изменчивость основного ритмодатчика, имеющего основной период в 22 года, или два 11-летних солнечных цикла. Динамика всех остальных индексов солнечной активности скоррелирована с ними настолько тесно, что различить их вклад в биологическую ритмику невозможно, и какая-либо детализация по физическим процессам на этом уровне дискретизации данных технически недостижима.

В то же время при текущем развитии баз данных и методов метаисследований на этом уровне дискретизации можно изучить проявление солнечной ритмики в динамике однородных процессов в разных точках Земли и в разных циклах солнечной активности.

Суточный масштаб дискретизации данных на протяжении многих лет остается наиболее удобным для изучения феноменологии гелиобиологического эффекта как для больных, так и для здоровых людей. На этом уровне в литературе обнаруживается самый широкий разброс по уровню организации изучаемых биосистем, от небольших популяций (групп индивидуумов, например, пациентов отдельных больниц) до систем организма, таких как нервная, сердечно-сосудистая, эндокринная. Также на этом уровне дискретизации наиболее широк и разброс степени наблюдаемого ответа системы, от обратимого сдвига среднего значения физиологических показателей (адаптация) до разрушения системы (смерти организма).

Внутрисуточный масштаб дискретизации данных, т.е. часовой и минутный, является наиболее новым и перспективным, поскольку дает надежду на экспериментальное выявление конкретных стадий формирования физиологической реакции. На этом масштабе изучают ответ отдельных органов или систем организма, этот масштаб позволяет проследивать в реальном времени изменения, происходящие в биохимических процессах синтеза гормонов, в агрегации крови, в электрохимических процессах распространения возбуждения по нейронам и кардиомиоцитам, и т.д.

На этом масштабе уже невозможно изучать необратимые ответы живой системы, однако удобно наблюдать обратимую реакцию ("норма" и "адаптация"), т.е. наблюдаются две самые слабые из перечисленных степени реакции биосистем. Что также крайне важно, на этом уровне эффект проявляется в виде подстройки частоты биологического ритма под ритм геофизический, часто без сдвига среднего значения: ритмы сердца и мозга здоровых людей в спокойном режиме функционирования синхронизируются с вариациями геомагнитного поля, что, по-видимому, является необходимым элементом существования живых организмов.

Также данный масштаб позволяет исследовать пограничные режимы и возможные срывы функционирования, которые приводят к аритмиям, фибрилляциям, подъемам артериального давления, спазмам сосудов, и которые проявляются на более крупных временных масштабах в виде резких ухудшений самочувствия и возрастания уровня смертности.

В качестве логических следствий из результатов проведенной систематизации можно сформулировать еще два важных методологических момента, которые в настоящее время практически не учитываются в выполняемых гелиобиологических исследованиях:

- 1) Для изучения реакции каждой биосистемы существует оптимальное частотное окно дискретизации данных, вне него реакция данной системы оказывается либо сглаженной практически до стадии отсутствия эффекта, либо нестабильной.
- 2) Разные степени реакции биологической системы имеют различную форму. В одних случаях она проявляется как сдвиг среднего значения показателя, а в других, в пределах физиологической нормы величина показателя - как подстройка частоты ритма.

5. Оптимальная частота дискретизации данных

Так, для изучения закономерности возникновения эпидемий возможен только годовой масштаб дискретизации данных. Это связано с тем, что сам процесс развития эпидемии занимает достаточно много времени, а для сбора данных необходим большой регион - страна, область или хотя бы город. Необходимое условие накладывается и на длину временного ряда данных, она должна быть не менее двух солнечных циклов, т.е. больше 22 лет. Положительным моментом является то, что при этом масштабе можно обоснованно пренебречь возможным вкладом погодных факторов, которые усредняются внутри годового интервала, что облегчает анализ. Однако различить, какой именно из факторов солнечной активности оказывает непосредственное влияние на биообъект, в годовом масштабе невозможно.

Но уже при анализе особенностей динамики повышения смертности, например, от сердечно-сосудистых заболеваний, возможен как годовой масштаб анализа, так и суточный, но задачи, которые можно решать на этих масштабах, будут разными. О преимуществах и ограничениях годового масштаба сказано выше. На суточном масштабе возможный вклад погодных факторов уже как минимум сравним с космическим, и пренебрегать им нельзя. Разрешение данного масштаба позволяет различить возможный вклад солнечных вспышек, протонных событий или магнитных бурь, но не фаз магнитной бури.

В то же время на внутрисуточном уровне изучать особенности медицинской статистики любого заболевания практически невозможно, так как уже невозможно будет отделить потенциальные эффекты космической погоды от вклада социальных факторов, таких как ритм рабочего дня, эндогенные биологические ритмы, и т.п.

Важно также отметить, что суточный уровень допускает в качестве параметров космической погоды использование как локальных индексов геомагнитной активности, так и планетарных, при этом различия в выводах при их использовании будут незначительными. Но уже внутрисуточный уровень требует только локальных геомагнитных данных, максимально приближенных к месту проведения наблюдений.

Очень популярный физиологический показатель, для которого наиболее устойчиво обнаруживается зависимость от факторов космической погоды, а именно уровень АД, в разных работах исследуется при месячной, недельной, суточной или даже часовой частоте дискретизации данных. В действительности из них информативным является только суточный масштаб, поскольку, как было показано [16, 37], реакция показателей АД на магнитную бурю длится всего сутки или двое, и при больших интервалах между измерениями эффект очень легко пропустить, либо он будет зашумлен.

Но, наверное, в наибольшей степени фактор важности выбора оптимальной частоты сбора данных относится к таким физиологическим показателям, как ЧСС, параметры variability сердечного ритма (VCP) и параметры мозговой деятельности.

В широко распространенных подходах к анализу реакции этих параметров на факторы космической погоды измерения показателей VCP производится один раз в сутки (т.е. с суточной частотой дискретизации данных) в течение пяти минут, и затем полученные показатели сопоставляются с суточными же значениями уровня ГМА.

В то же время результаты непрерывного мониторинга этих показателей у человека в спокойном неподвижном состоянии показывают, что их вариабельность даже в таких условиях слишком велика (Рис. 7), чтобы результат, полученный по пятиминутному фрагменту записи, можно было рассматривать как характеристику организма в течение данных суток: измерения, проведенные на том же испытуемом полчаса спустя, могут дать кардинально отличающийся результат даже при отсутствии каких-то событий.

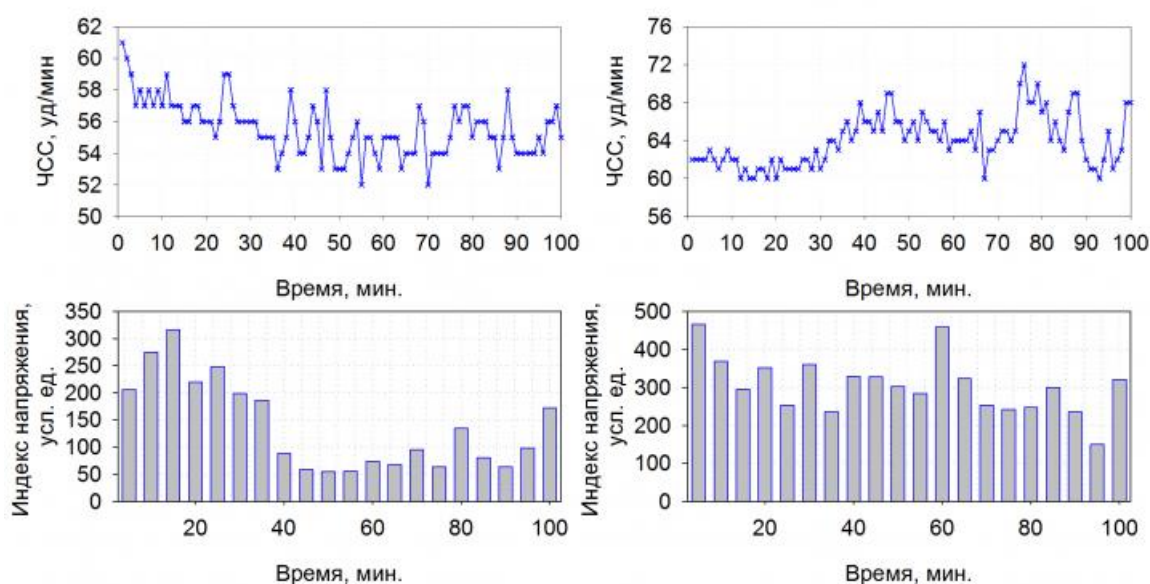


Figure 7. - Top - time series of minute-by-minute heart rate values for two healthy middle-aged volunteers recorded in the supine position at rest (awake mode). Below - time series of values of the Stress Index (Stress Index), calculated from successive five-minute segments of the corresponding series of heart rate.

В течение первого из приведенных экспериментов показатели ЧСС изменяются от 52 до 61 уд/мин, что составляет примерно 16% от среднего наблюдаемого значения ЧСС (56 уд/мин). При этом масштаб изменений индекса напряжения, одного из наиболее популярных параметров ВСР, составляет от 54 до 360, т.е. в зависимости от выбора пятиминутного интервала времени у одного и того же волонтера в состоянии покоя можно получить шестикратно различающиеся значения уровня стресса. Во втором эксперименте значения ЧСС составляют: среднее 64.7 уд/мин, минимум 60, максимум 72 уд/мин; значения индекса напряжения среднее 305, максимум 450, минимум 150.

Из приведенных примеров видно, что для суточного масштаба дискретизации показатели сердечного ритма обладают слишком быстрой изменчивостью, что и приводит к упомянутой в начале статьи нестабильности получаемых эффектов для данного объекта исследования. Аналогичный, и даже более сильный, вывод можно сделать относительно изучаемых параметров мозговой активности, например, амплитуды ритма в определенном частотном диапазоне.

В то же время внутрисуточный (в данном случае - минутный) масштаб дискретизации данных позволяет получить важную информацию о чувствительности сердечно-сосудистой системы к вариациям вектора магнитного поля [\[38\]](#). Но в этом случае реакция на геомагнитный агент проявляется не как сдвиг среднего значения, а как подстройка частоты биологического ритма под геофизический.

Таким образом, можно говорить о важности выбора оптимального частотного окна реакции для каждой биологической системы (популяция, организм в целом, отдельная система организма, отдельный орган). В случае, когда поиск ответа определенной системы осуществляется исследователем вне данного окна или на его границе, т.е. выбрана слишком высокая или слишком низкая частота дискретизации данных, сам эффект оказывается зашумлен, а получаемые в анализе отклонения физиологического показателя от среднего значения являются в значительной степени случайными, и, как следствие, непостоянными и разнонаправленными.

6. Возможные формы проявления эффекта

Второе важное следствие проведенной систематизации гелиобиологических результатов заключается в том, что в некоторых исследованиях поиск ответа биосистемы производится в нехарактерной для данной системы и данного временного масштаба форме. Например, биологический эффект таких факторов, как электромагнитные колебания на частотах Шумановских резонансов или геомагнитные пульсации, многократно регистрировался в виде сдвига частоты биологических процессов, которое далеко не всегда сопровождалось сдвигом среднего значения физиологического показателя. Попытки обнаружить действие этих факторов именно по сдвигу среднего значения могут также приводить к нестабильности выявляемого эффекта.

В качестве примера можно привести работу [\[35\]](#), в которой изучали действие ранее записанного трехкомпонентного сигнала магнитной бури на морфологические параметры рыб и морских обитателей. В одном из исследований из зарегистрированного широкополосного сигнала бури были выделены фильтрацией два частотных диапазона: низкочастотный сигнал (диапазон частот до 0,001 Гц) и диапазон 0,001–5 Гц. В эксперименте было получено, что исходный широкополосный сигнал от геомагнитной бури и ее самая низкочастотная компонента повлияли на одни и те же биологические параметры: гравитропный ответ льна, перекисное окисление липидов у молоди *D. magna*, активность супероксиддисмутазы у молоди *D. magna*, активность кальпаина в

мозге карася и протеолитическую активность пищеварительных ферментов карася. Причем действие этой низкочастотной составляющей геомагнитного поля в диапазоне частот до 0,001 Гц было столь же сильным или даже сильнее, чем эффекты исходного широкополосного сигнала геомагнитной бури.

В то же время воздействие отдельных частотных составляющих сигналов геомагнитной бури в диапазоне частот 0,001–5 Гц приводило к снижению только одного измеряемого биопараметра - протеолитической активности пищеварительных ферментов карася [\[8\]](#).

Таким образом, самая низкочастотная компонента сигнала геомагнитной бури оказывала влияние как на необратимые изменения биообъектов, например, изменение числа позвонков или лучей плавника, так и на обратимые, таких как биохимическая активность ряда ферментов. Сигнал в диапазоне частот 0,001–5 Гц также влиял, но только на обратимые реакции, в данном случае на активность пищевых ферментов.

Из этих результатов авторы исследований делают заключение, что биологическое действие оказывает именно низкочастотная составляющая вариаций геомагнитного вектора, которая в природе описывается показателем Dst-вариации, а не геомагнитные вариации миллигерцового диапазона. Однако здесь можно высказать возражение, или, вернее, уточнение. В свете описанных выше наблюдаемых гелиобиологических эффектов резонно предполагать, что геомагнитные вариации диапазона 0,001–5 Гц могут оказывать влияние, близкое к эффекту синхронизации, и без существенного сдвига среднего значения, которое можно было бы зарегистрировать в проведенном эксперименте.

Таким образом, можно согласиться с выводами авторов данных исследований, что крайне низкочастотная компонента сигнала геомагнитной бури может приводить к биологическим ответам со сдвигом среднего значения. Однако, на наш взгляд, из полученных результатов нельзя сделать однозначный вывод, что геомагнитные вариации миллигерцового диапазона не оказывают никакого биологического воздействия, поскольку в данном дизайне эксперимента эффект просто мог проявляться по-другому.

Обоснованность такого уточнения подтверждают, например, результаты работ [\[39,40\]](#). В первой из них наблюдали обратимое изменение параметров сердечного ритма при экспонировании человека в магнитном поле с параметрами, соизмеримыми с геомагнитными пульсациями PC1. Во второй работе изучали влияние переменного магнитного поля в диапазоне частот первой моды Шумановских резонансов (7,8 Гц, 90 нТл) на электрохимические процессы в клеточных культурах кардиомиоцитов крыс. Влияние поля было обратимым, независимо от величины поля в диапазоне от 20 нТл до 100 нТл и от внешнего постоянного магнитного поля.

Заключение

На протяжении многих десятилетий в гелиобиологии основные усилия были сосредоточены на доказательстве самого факта существования солнечно-биосферных связей. В то же время задачу поиска причин нестабильности эффекта, которая проявлялась в виде различий характеристик получаемых результатов, авторы работ оставляли на будущее, объясняя его присутствием ряда неконтролируемых (и даже не известных толком) дополнительных внешних факторов, влияющих на степень и характер гелиобиологического эффекта.

Ранее мы предположили, что нестабильность гелиобиологического эффекта обусловлена в первую очередь методологическими причинами: существующие методологические

подходы, традиционные для физики и для биологии, плохо пригодны для исследования системы солнечно-биосферных связей в силу сложности изучаемой системы.

За последнее десятилетие были выявлены, подтверждены и включены в научное мировоззрение несколько моментов, специфических именно для гелиобиологических исследований:

- 1) Индивидуальный характер реакции: анализ индивидуальных данных дает намного более самосогласованные и логичные результаты, чем традиционно принятый в медицине средне-групповой подход. Операция усреднения по группе в значительной степени скрывает гелиобиологический эффект.
- 2) Обязательность одновременного учета действия факторов земной и космической погоды: эти два класса факторов воздействуют на одни и те же системы организма, и их сочетание может как усиливать, как и ослаблять метеотропный эффект.
- 3) Учет временного фактора, т.е. фазы ритмических гелиофизических процессов, причем в любом масштабе времени: 11-летнего солнечного цикла, среднего уровня ГМА в период проведения наблюдений, на внутрисуточном масштабе и соотношение фаз магнитной бури и суточной геомагнитной вариации.

К уже перечисленным методологическим принципам можно добавить еще два:

- 1) *Существование оптимального частотного окна для изучения реакции определенной биосистемы.* Так, для изучения закономерности возникновения эпидемий наиболее удобен годовой масштаб дискретизации данных, для реакции показателей АД – суточный, для реакции сердечного ритма и электрической активности мозга – минутный (или даже еще более частый). Для суточного масштаба показатели сердечного ритма обладают слишком быстрой изменчивостью, что и приводит к упомянутой выше нестабильности получаемых эффектов. Поэтому в случае, когда для изучения эффекта исследователем выбран неоптимальный масштаб дискретизации данных, получаемый результат оказывается либо полностью сглаженным (нет эффекта), либо слишком переменчивым, т.е. нестабильным.
- 2) *Существование разных типов ответа биологической системы на разных временных масштабах.* Биологический эффект электромагнитных колебаний на частотах Шумановских резонансов или геомагнитных пульсаций многократно был зарегистрирован в виде сдвига частоты ритмических биологических процессов, которое не сопровождалось сдвигом среднего значения ФП. Попытки обнаружить действие этих факторов именно по сдвигу среднего значения могут также приводить к нестабильности выявляемого эффекта.

Таким образом, методологические принципы, как уже вошедшие в гелиобиологические исследования в последние 10 лет, так и новые, полученные на основании проведенной систематизации гелиобиологических эффектов, позволяют в значительной мере снизить процент необъяснимых невоспроизводимых результатов.

Библиография

1. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976.
2. Пресман А.С. Электромагнитное поле и живая природа. М.: Наука, 1968.
3. Lednev, V.V., Belova, N.A., Rozhdestvenskaya, Z.E., Tiras, K.P. (2003). Biological effects of weak alternating magnetic fields and biological precursors of earthquakes. Geophys. Processes Biosph, 2:7–18.

4. Martynyuk, V.S., Temur'yants, N.A. (2010). Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 46, 820–829. <https://doi.org/10.1134/S0001433810070029>
5. Belova, N.A., Ermakov, A.M., Znobishcheva, A.V., Serebnitskaia, L.K., Lednev, V.V. (2010). Effect of the extremely weak alternating magnetic fields on the regeneration of planarians and the gravitropic response of plants. *Biofizika* 55:704–709.
6. Binhi, V.N. & Prato, F.S. (2017). A physical mechanism of magnetoreception: extension and analysis. *Bioelectromagnetics* 38, 41–52. DOI: 10.1002/bem.22011
7. Binhi, V.N. & Prato, F.S. (2018). Rotations of macromolecules affect nonspecific biological responses to magnetic fields. *Sci Rep* 8:1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31847-y>
8. Krylov, V.V., Zotov, O.D., Klain, B.I., Ushakova, N.V., Kantserova, N.P., Znobisheva, A.V., Izyumov, Y.G., Kuz'mina, V.V., Morozov, A.A., Lysenko, L.A., Nemova, N.N., Osipova, E.A. (2014). An experimental study of the bio-logical effects of geomagnetic disturbances: The impact of a typical geomagnetic storm and its constituents on plants and animals. *J Atmos Sol Terr Phys* 110(111):28–36. doi:10.1016/j. jastp.2014.01.020.
9. Krylov, V.V. (2017). Biological effects related to geomagnetic activity and possible mechanisms. *Bioelectromagnetics*. 38(7), 497–510.
10. Gurfinkel, Yu.I., Vasin, A.L., Pishchalnikov, R.Yu, Sarimov, R.M., Sasonko, M.L., Matveeva, T.A. (2018). Geomagnetic storm under laboratory conditions: randomized experiment. *International Journal of Biometeorology*, 62, 501–512.
11. Dimitrova, S., Stoilova, I., Cholakov, I. (2004). Influence of local geomagnetic storms on arterial blood pressure. *Bioelectromagnetics*. 25:408–414. doi: 10.1002/bem.20009
12. Azcárate, T., Mendoza, B., de la Peña Sánchez, S., Martínez, J.L. (2012). Temporal variation of the arterial pressure in healthy young people and its relation to geomagnetic activity in Mexico. *Adv Space Res* 50:1310–1315. doi:10.1016/j.asr.2012.06.015
13. Cornelissen, G., Halberg, F., Breus, T.K., Syutkina, E.V., Baevskii, R.M., Weydahl, A., Watanabe, Y., Otsuka, K., Siegelova, J., Fiser, B., Bakken E.E. (2002). Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *J. Atmosph. and Solar-Terrestrial Physics*, 64, 707–728.
14. Oinuma, S., Kubo, Y., Otsuka, K., Yamanaka, T., Murakami, S., Matsuoka, O., Ohkawa, S., Cornélissen, G., Weydahl, A., Holmeslet, B., Hall, C., Halberg, F. (2002) Graded response of heart rate variability, associated with an alteration of geomag-netic activity in a subarctic area. *Biomed. Pharmacother*, 56(2), 284–288.
15. Otsuka, K., Cornelissen, G., Weydahl, A., Holmeslet, B., Hansen, T.L., Shinagawa, M., Kubo, Y., Nishimura, Y., Omori, K., Yano, S., Halberg, F. (2001). Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area. *Biomed. Pharmacother*, 55(1), 51–56.
16. Шеповальников В.Н., Сороко С.И. Метеочувствительность человека / Отв. ред. В.А.Яковлев; АН Республики Кыргызстан, Ин-т физиологии и экспериментальной патологии высокогорья. Бишкек:Илим, 1992.
17. Зенченко Т.А., Варламова Н.Г. Характеристики реакции показателей гемодинамики здоровых людей на изменения метеорологических и геомагнитных факторов в условиях Севера // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14. №2. С. 50-66.
18. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. Л.: Гидрометеоиздат. 1966.
19. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-

- ноосферу / Под ред. Л.А. Блюменфельда и Н.Н. Моисеева. М.: Из-во МИЭПУ, 2000.
20. Андропова Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, 1982.
21. Распопов О.М., Шумилов О.И., Касаткина Е.А.. Космические лучи как главный фактор влияния солнечной вариабельности на климатические и атмосферные параметры // Биофизика. 1998. Т. 43. № 5. С. 902-908.
22. Распопов О.М., Ловелиус Н.В., Шумилов О.И., Касаткина Е.А. Экспериментальное подтверждение нелинейного характера воздействия солнечной активности на земную атмосферу и окружающую среду // Биофизика, 1998, Т.43. № 5. С. 863-867.
23. Gray, L.J., Beer, J., Geller, M., Haigh, J.D., Lockwood, M., Matthes, K., Cubasch, U., Fleitmann, D., Harrison, G., Hood, L., Luterbacher, J., Meehl, G.A., Shindell, D., van Geel B., White, W. (2010). Solar influences on climate. *Rev. Geophys.*, 48. <https://doi.org/10.1029/2009rg000282>
24. Anagnostopoulos, G.C.; Menesidou, S.-A.I.; Efthymiadis, D.A. (2022). The March 2012 Heat Wave in Northeast America as a Possible Effect of Strong Solar Activity and Unusual Space Plasma Interactions. *Atmosphere*, 13, 926. <https://doi.org/10.3390/atmos13060926>
25. Ozheredov, V.A., Breus, T.K., Gurfinkel, Y.I., Revich, B.A., Mitrofanova, T.A. (2010). Influence of some weather factors and geomagnetic activity on the development of severe cardiological pathologies. *Biophysics*, 55(1), 110–119. <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS0006350910010185>
26. Vencloviene, J., Braziene, A. and Dobozinskas, P. (2018). Short-Term Changes in Weather and Space Weather Conditions and Emergency Ambulance Calls for Elevated Arterial Blood Pressure. *Atmosphere*, 9, 114. doi:10.3390/atmos9030114
27. Baevsky, R.M., Petrov, V.M., Cornelissen, G., Halberg, F., Orth-Gomer, K., Akerstedt, T., Otsuka, K., Breus, T., Siegelova, J., Dusek, J., Fiser, B. (1997). Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease. *Scr Med (Brno)*. Jul;70(4-5):201-6. PMID: 11543511
28. Breus, T., Baevskii, R. and Chernikova, A. (2012). Effects of geomagnetic disturbances on humans functional state in space flight. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 5, 341-355. doi: 10.4236/jbise.2012.56044
29. Dorman, L.I. (2005). Space weather and dangerous phenomena on the Earth: Principles of great geomagnetic storms forecasting by online cosmic ray data. *Ann. Geophys.*, 23, 2997–3002.
30. Mavromichalaki, H.; Papailiou, M.-C.; Gerontidou, M.; Dimitrova, S.; Kudela, K. (2021). Human Physiological Parameters Related to Solar and Geomagnetic Disturbances: Data from Different Geographic Regions. *Atmosphere*, 12, 1613. <https://doi.org/10.3390/atmos12121613>
31. Wanliss, J., Cornélissen, G., Halberg, F. et al. (2018). Superposed epoch analysis of physiological fluctuations: possible space weather connections. *Int. J Biometeorol.*, 62, 449–457. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1453-7>
32. Watanabe, Y.; Cornélissen, G.; Halberg, F.; Otsuka, K.; Ohkawa, S.I. (2001). Associations by signatures and coherences between the human circulation and helio- and geomagnetic activity. *Biomed. Pharmacother.*, 55, 76–83.
33. Zenchenko, T.A. & Breus, T.K. (2021). The Possible Effect of Space Weather Factors on Various Physiological Systems of the Human Organism. *Atmosphere*, 12, 346. <https://doi.org/10.3390/atmos12030346>
34. Зенченко Т.А., Димитрова С., Стоилова И., Бреус Т.К. Индивидуальные типы

реакций артериального давления практически здоровых людей на действие геомагнитной активности / Клиническая медицина. 2009. № 4. С. 18-23.

35. Крылов В.В. Влияние естественных и антропогенных низкочастотных магнитных полей на гидробионтов. Дисс. на соиск. д.б.н., 2018. 316 с.
36. Бреус Т.К. Влияние солнечной активности на биологические объекты: дисс. на соиск. ученой степ. д.ф-м.н.:01.03.03;03.00.02 М., 2003. 248 с.
37. Зенченко Т.А. Метод последовательных приближений в задаче исследования механизма индивидуальных гелиометеотропных реакций // Сборник материалов международной конференции «Влияние космической погоды на здоровье человека в космосе и на Земле», Москва, 4-7 июня 2012, стр 633-648.
<http://www.iki.rssi.ru/books/2013breus2.pdf>
38. Зенченко Т.А., Медведева А.А., Хорсева Н.И., Бреус Т.К. Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0.5-3 мГц // Геофизические процессы и биосфера. 2013. Т. 12, № 4. С. 73-84.
39. Леднев В.В., Белова Н.А., Ермаков А.М., Акимов Е.Б., Тоневицкий А.Г. Регуляция вариабельности сердечного ритма человека с помощью крайне слабых переменных магнитных полей // Биофизика. 2008. Т. 53. № 6. С. 1129-1137.
40. Elhalel, G., Price, C., Fixler, D., Shainberg, A. (2019). Cardioprotection from stress conditions by weak magnetic fields in the Schumann resonance band. Sci. Rep., 9, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36341-z>

Результаты процедуры рецензирования статьи

Рецензия скрыта по просьбе автора