

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI 10.26163/GIEF.2019.40.72.013
УДК 612.82/83 591.1: 591.481

S.I. Soroko

INFLUENCE OF COSMOGEOGRAPHICAL FACTORS ON LIVING ORGANISMS

The research is made under the government assignment of the Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of Russian Academy of Sciences (Reg. № AAAA-F18-118012290142-9)

Svyatoslav Soroko – Head of the Laboratory of Comparative Ecological and Physiological Studies, the Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, full member of the Russian Academy of Natural Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Winner of the USSR State Prize, Doctor of Medicine, professor, St. Petersburg; **e-mail: soroko@iephb.ru.**

We make a survey of published data and introduce the results of our own research concerning the response of the human body and animals to heliogeophysical and meteorological factors. Possible neurophysiological, biochemical and molecular mechanisms of interaction of organism systems with physical parameters of ionizing and penetrating radiation of near-earth space are considered. We pay special attention to the impact of geomagnetic disturbance (magnetic storms). We demonstrate that human reactions to natural environmental factors should be seen as an integral result, reflecting both a direct impact on the vegetative processes of the body, and indirect, via changes in the central (brain) processes of their regulation.

Keywords: space biology; electromagnetic and corpuscular Sun radiation; solar-terrestrial relation; cosmic rhythms; weak and strong interactions; brain; magnetic fields.

С.И. Сороко

ВЛИЯНИЕ КОСМОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

*Работа выполнена в рамках госзадания ИЭФБ РАН
(рег. № AAAA-Ф18-118012290142-9)*

Святослав Иосифович Сороко – зав. лабораторией сравнительных эколого-физиологических исследований Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук, академик РАЕН, член-корреспондент РАН, лауреат Государственной премии СССР, доктор медицинских наук, профессор, г. Санкт-Петербург; **e-mail: soroko@iephb.ru.**

В статье приведен обзор данных литературы и представлены результаты собственных исследований автора по изучению реакции организма человека и животных на воздействие гелиогеофизических и метеорологических факторов. Рассматриваются возможные нейрофизиологические, биохимические и молекулярные механизмы взаимодействия отдельных систем организма с физическими параметрами ионизирующих и проникающих излучений околоземного пространства. Значительное место уделено воздействию на организм резких возмущений геомагнитного поля (магнитных бурь). Показано, что реакции человека на воздействие природных факторов среды являются интегральным результатом, отражающим как прямое влияние на вегетативные процессы организма, так и опосредованное, через изменение центральных (мозговых) процессов их регуляции.

Ключевые слова: космическая биология; электромагнитные и корпускулярные излучения Солнца; солнечно-земные связи; космические ритмы; слабые и сильные взаимодействия; мозг; магнитные поля.

Биосфера Земли подвержена постоянному воздействию космических факторов, среди которых основное место занимают солнечная активность (электромагнитные излучения – видимый свет, ультрафиолетовое, радиоизлучение, рентгеновское и др.) и корпускулярное излучение (солнечный ветер, солнечные космические лучи от вспышек), а также состояние межпланетного магнитного поля, галактических магнитных полей и галактические излучения. Эти факторы наиболее выражены в полярных районах нашей планеты, что объясняется структурой геомагнитного поля Земли. В настоящее время в научной литературе накоплено много данных о влиянии на человека комплекса гелиокосмических факторов, однако биофизические и физиологические механизмы их воздействия на живые системы в большинстве остаются неясными и во многом противоречивыми. Это в полной мере относится и к влиянию на человека геомагнитной активности.

Фоновые электромагнитные поля считаются одним из важнейших экологических параметров [10; 11; 21]. Имеется в

виду постоянно существующий на поверхности Земли фон электромагнитных колебаний на частотах ниже 10^3 Гц (низкие и сверхнизкие частоты). Он формируется несколькими источниками: микропульсациями геомагнитного поля, очень низкочастотными излучениями магнитосферы, атмосфериками (низкочастотная часть спектра излучения молниевых зарядов). Напряжённость поля во всем этом диапазоне частот сильно варьирует в связи с солнечной активностью (рис. 1). Низкочастотные электромагнитные поля проникают с малым затуханием практически всюду – в почву, толщу воды, замкнутые помещения [2; 21].

Имеются сложные взаимодействия солнечного ветра и межпланетного магнитного поля с магнитосферой, которые вызывают соответствующие возмущения ЭМП Земли.

Любые изменения на Солнце, сопровождающиеся вариациями ионизирующего излучения, немедленно обнаруживаются во флюктуациях ГМП, даже 5-минутные акустические собственные солнечные колебания. Однако до сих пор считается,

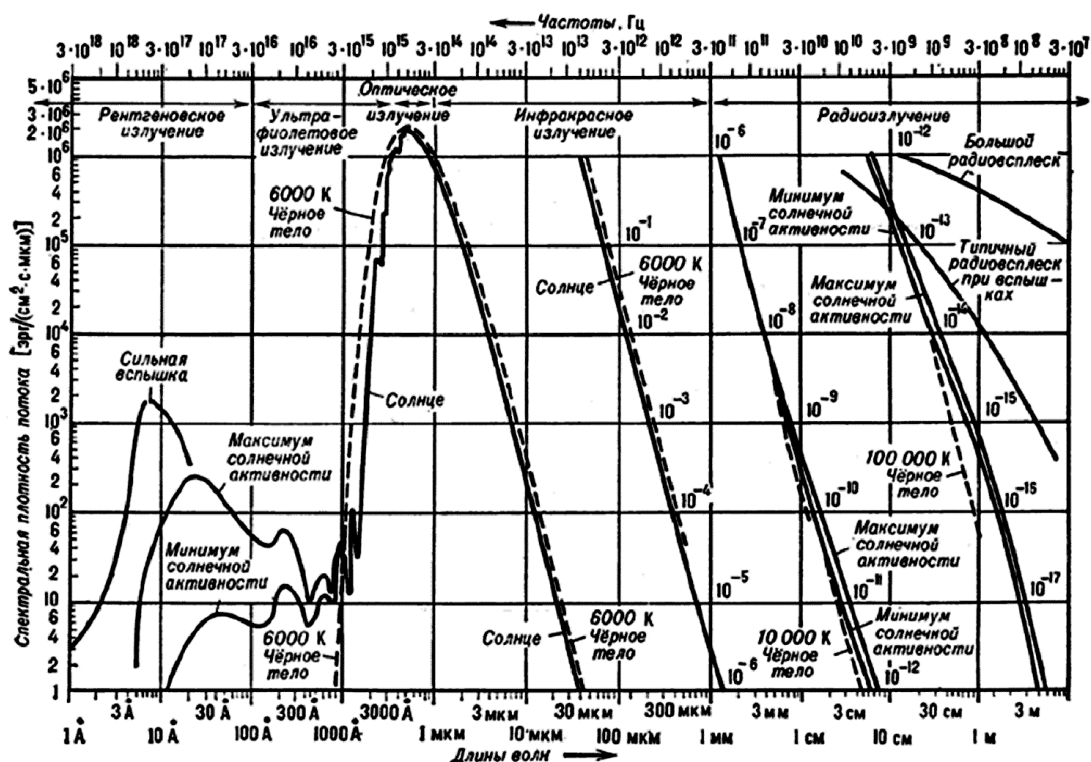


Рис. 1. Спектральный состав и интенсивность ионизирующих и проникающих излучений в околоземном пространстве

Источник: [1].

что эти флуктуации не имеют экологической значимости для живых организмов [10].

Космогеофизические факторы, оказывая воздействие на биохимические параметры, могут модулировать функциональное состояние организма в целом. Электромагнитные поля, в том числе естественные (геомагнитные, ионосферные, межпланетные) в первую очередь воздействуют на молекулярные уровни организма. Они являются пусковыми для проявления макроэффектов. Влияние электромагнитных полей на биохимические процессы организма отражается в изменениях обмена (углеводного, белкового, азотистого, липидного и электролитного). При этом характер реакции может быть разнонаправленным в зависимости от параметров воздействия [37; 42; 64].

Каковы же возможные механизмы взаимодействия космических факторов и внутренней среды организма? Исходя из существующих представлений различных авторов, в водных средах благодаря кооперативности постоянно возникают и разрушаются системы водородных связей. Одна из гипотез говорит о «чувствительности» водных систем к энергетически слабым воздействиям, которая обеспечивается кооперативностью, возможностью существования в воде метастабильных неравновесных, но сравнительно долго живущих структур. В биосистемах каждый составной элемент пребывает в постоянном и неразрывном взаимодействии друг с другом, определяющем динамику поведения целостной системы, механизмы саморегуляции и управления. Биологическая кинетика характеризуется определёнными особенностями: переменными выступают концентрации, изменяемые во времени и пространстве, наличие специальных механизмов обратной связи, возможность участия других признаков и свойств в биорегуляции. Управление может осуществляться по принципу триггера, заключающемуся в способности переключаться из одного режима в другой при наличии устойчивых стационарных состояний и переходов между ними [18].

Существенно влияют на биологиче-

ские процессы электромагнитные свойства биомолекул, свободных радикалов (включая неорганические), белков и ферментов и, вообще, взаимодействие их с ионизирующими и неионизирующими излучениями, в число которых входят и космические лучи, и солнечные излучения, и факторы ионосферы. Известно, что тканевое дыхание сопряжено с окислительным фосфорилированием внутри митохондриальной мембраны, благодаря которому возникает движущая сила – протонный градиент [45]. Таким образом, воздействие квантов энергии электромагнитного поля извне реагирует с электронами или протонами через изменение состояния АТФ или других переносчиков заряженных частиц, или ферментных белков, что сопровождается регулирующими биологическими воздействиями, изменениями скорости метаболизма. Для различных ферментных реакций с участием переноса электронов существуют области значений параметров, в которых происходят незатухающие колебания переменных – квазистационарные концентрации. В механизме же развития лучевого поражения центральное место принадлежит повреждению структур ДНК. Однако повреждение гамма-квантом или вторичным окисляющим радикалом не исключает вероятности успешной репарации структуры ДНК за счёт комплементарной цепи, что может сопровождаться активацией соответствующих ферментативных систем. Сверхслабые взаимодействия соотносят с квантовыми эффектами, в основе которых лежат также магнитно-резонансные явления. При сверхслабых воздействиях реакция стимула определяется свойствами самой системы [32; 50].

В литературе имеются сведения о влиянии динамики космических процессов на биосферу, эволюцию организмов, зависимость организма от двух реализуемых программ: внутренней, основанной на солитонно-голографической организации, и внешнесредовой. Сдвиги параметров физических полей могут менять функциональное состояние организмов, влияя на физико-химические свойства молекул организма, через механизмы ядер-

но-магнитного резонанса (ЯМР), активность ферментов, скорость биохимических реакций, структуру и транспортные свойства клеточных мембран, активность электро- и хемоправляемых ионных каналов, экспрессию (проявление) генов, клеточных рецепторов, возбудимость нейронов и через них на весь организм [8; 46; 67].

В биохимии существует закон Гесса, который является следствием 1-го начала термодинамики: приращение энтальпии (внутренней энергии) при образовании заданных продуктов из данных химических соединений при постоянном давлении не зависит от количества и вида химических превращений, в результате которых образуются эти вещества [25]. Однако закон не учитывает, например, флуктуаций давления внутри биологических сред, называемых кавитацией и вызываемых такими внешними воздействиями, как ультразвуковые, магнитные, высокочастотные, световые воздействия [26]. В итоге мы имеем значительно больше факторов и эффектов от их воздействия, чем первоначально изучаемый внешний параметр и подразумеваемый ответ биосистемы.

Известна зависимость свойств белков от их конформационного состояния. Конформации белков складываются из локальных микро-информационных смещений отдельных атомных групп, приводящих к перестройкам всей конструкции белка. Например, процесс достижения конечной равновесной конформации гемоглобина проходит через последовательные энергетические стадии релаксаций исходной дезоксиформы. Эти сведения получены при помощи люминесцентных и парамагнитных способов. Такие свойства используются в методах радиоспектрометрии, которые состоят в основном из электронного парамагнитного резонанса и ядерно-магнитного резонанса, суть которого в том, что электроны и ядра атомов характеризуются магнитным моментом – спином, а взаимодействие переменного магнитного поля с системой ядерных спинов в постоянном магнитном поле вызывает ядерно-магнитные резонансные яв-

ления [52].

Одним из механизмов воздействия космогелиогеофизических параметров может быть также явление электронного парамагнитного резонанса – резонансное поглощение энергии электромагнитных колебаний в сантиметровом или миллиметровом диапазоне волн (около 9000 МГц) веществами с парамагнитными частицами [5; 43]. Время, за которое наблюдаемая упорядоченность нарушается (ориентировка диполей), называется временем релаксации. Релаксация молекул – интегральный феномен. На её параметры влияют физические характеристики ЭМП, геометрия, размеры, концентрация молекул, границы раздела сред. В жидкостях взаимодействие определяется процессами релаксации, при этом предполагается полярная природа молекул с электрическим дипольным моментом. При воздействии на жидкость ЭМП молекула вращается с установлением оси диполя по направлению этого поля [4].

В природе всегда воздействие космических лучей (далее – КЛ) сочетается с геомагнитным полем (далее – ГМП) и вторичными атмосферными явлениями – широкими атмосферными ливнями. Показано, что для повышения радиорезистентности организма полезно сочетание ионизирующих излучений с магнитными полями, вариациями температуры среды и другими физическими факторами, что существует реально в окружающей среде [60]. К таким условиям живые организмы адаптировались в ходе эволюции. Непосредственное сочетание повышенного уровня ГМП и радиационного облучения увеличивает летальность животных в 1,5–2 раза. Таким образом, геомагнитные возмущения в сочетании с ионизирующими излучениями существенно влияют на реактивность организма [16]. Атмосферные процессы связаны с КЛ, сопровождаются широкими атмосферными ливнями со средней частотой 12–13 Гц и образованием в слоях атмосферы потоков элементарных частиц и ионов. Изменение температурных режимов атмосферы на 1 градус сопровождается вариацией потока мезонов до 0,2%, а изменение атмосфер-

ного давления на 100 Па меняет поток нейтронов на 0,7% [20]. Особое место занимают исследования конечных этапов замедления элементарных частиц (пионов) в тканях и реакций захвата пионов ядрами углерода и кислорода, сопровождающихся образованием нейтронов [66]. Коротковолновые ударные электромагнитные излучения изменяют мембранную проницаемость, увеличивают образование свободных радикалов, которые инициируют процесс перекисного окисления липидов и изменения функциональных свойств мембраны, и цепной процесс перекисного окисления липидов [35]. Ударное воздействие, наряду с механическими повреждениями, вызывает разрыв сульфгидрильных связей и образование реакционноспособных свободных радикалов с последующим изменением мембранной проницаемости клеток [25].

Потоки заряженных частиц способны оказывать действие на биологически значимые компоненты нуклеиновых кислот, белков и липидов, на устойчивость урацила, входящего в генетический аппарат клетки (при облучении α -частицами). Протоны с энергией 6 МэВ разрушают ди- и три-пептиды (из триптофана и глицина) и приводят к распаду боковых цепей аминокислот и разрыву пептидных связей. Гибель клеток происходит по причине разрушения генетического аппарата и деструкции клеточных стенок [33]. Л.Д. Кисловский [31] предположил влияние слабых ЭМП на биохимические процессы посредством изменения структуры воды, в которой возможно образование кальциевых гексааквакомплексов. Связанные с этим явлением мгновенные изменения концентрации Ca^{2+} проявляются на макробиологических уровнях. С.Э. Шноль [57] связывал действие низкочастотных ЭМП с синхронизацией конформационных колебаний молекул в ферментативном катализе. Вода может рассматриваться в качестве структурного сенсора ЭМП и как преобразователь гидрофобно-гидрофильного равновесия в биологических системах и мембранах [37]. Основная масса молекул воды флюктуирует в режиме ультранизкочастотных колебаний,

что обуславливает повышенную чувствительность водных систем к излучениям этого диапазона. Роль водных кластеров, образованных в преддверии мощных солнечных вспышек, заключается в создании эффективного ослабляющего оптического фильтра, закрывающего фраунгоферовы линии основных структурообразующих металлов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}) в металлосодержащих биомолекулах [36]. Кроме того, явления ЯМР и ЭПР имеют место в отношении свободных радикалов или ядер ионов H^+ , K^+ , Na^+ , которые обладают магнитным моментом и находятся в постоянном магнитном поле Земли. Поэтому ЯМР и ЭПР используются самой природой в качестве методов регуляции и управления [19]. Спектральные составляющие процессов в системах, содержащих воду, находятся в диапазоне частот флюктуаций космогелиогефизического происхождения. Эти внешние влияния усиливают, синхронизируют, ускоряют или блокируют отдельные процессы в двойных электрических слоях, к которым относятся и биомембраны. Их чувствительность к ЭМП и акустическим воздействиям достигает порядка 10^{-16} Вт/см² [40]. Воздействие на двойной слой биомембран приводит к изменениям дисперсии значений емкости – (расшатывание слоя) и формированию «пульсационных ритмов». Обнаружены эффекты воздействия от слабых ГМП [49].

Предложен возможный механизм биомагнитной рецепции, который мог бы объяснить связь между резонансным магнитным полем и химическим процессом путём обменного взаимодействия электронов и протонов с когерентной прецессией спинов подсистем жидкой воды [8]. Электронные переходы и изменения состояний белков происходят более быстро, чем конформационные изменения. Например, эффективность процесса взаимодействия белково-гемного комплекса с окисью углерода с выделением кислорода при воздействии кванта света одинакова при поглощении гемом кванта с длиной волны 410 нм и белком – с длиной волны 280 нм [43]. Внешние воздействия способны приводить белки к направленному

сжатию или компактному состоянию [24].

ЭМП на системном и организменном уровне воздействует на молекулярные уровни организма [28; 62]. Они являются пусковыми для проявления макроэффектов. Влияние ЭМП на биохимические процессы выражается через изменения в углеводном [38], белковом [14], азотистом [44], липидном и электролитном [22] обменах с разнонаправленным характером эффектов в зависимости от параметров воздействия.

Имеется много публикаций о различных моделях, описывающих условия возникновения и поведение флюктуаций в физических, химических, биологических системах: о неравновесных системах с флюктуациями, колебаниях разнородных систем [29]. Предполагается существование фундаментального закона природы, приложимого ко всем неравновесным системам и проявляющегося в шуме типа $1/f$. К шуму $1/f$ были отнесены флюктуации ферментативной активности титра SH-групп и некоторых других характеристик водных растворов белков и небелковых веществ [51]. Распределение скоростей реакций (спектры), в которых наблюдаются макроскопические флюктуации, полимодально. К шуму $1/f$ относят изменения многих космических процессов, относительного числа солнечных пятен [70], сопротивления водных растворов ионов, диффузионные потоки ионов в мембранных каналах. К этому классу относят многие процессы биологии, химии [9; 15]. Биологический ритм, от клеточного уровня до уровня поведения, в подавляющих случаях подчиняется флюктуациям по закону $1/(f^n)$, где n – ближайшая частота (или ранг частот). Возможны 3 варианта причин: ионный перенос флюктуаций клеточных мембран, регулирующих ионные потоки в клетке в полуинтервалах, полное управление нейрогенной природы или суперпозиция случайных событий. Величины биологических параметров всегда флюктуируют во времени. Существуют доказательства $1/f$ -подобных флюктуаций биологических параметров от клеточного до поведенческого уровня. Возможны несколько механизмов генера-

ции $1/f$ -подобных биологических ритмических флюктуаций. Во-первых, $1/f$ ионные флюктуационные потоки мембран клеток модулируют поток ионов внутрь клеток, которые в свою очередь модулируются изменениями интервалов импульсов клеток и нервов. Исследован новый механизм функциональной регуляции ионной проводимости каналов в зависимости от флюктуации окружающей среды. Во-вторых, временная задержка и ответы системной нервной регуляции могут быть причиной $1/f$ модуляций, например, флюктуации сердечного ритма и кровяного давления [15; 51; 67].

Полученные нами данные о многолетней динамике биохимических параметров [47], реакции центральной нервной системы и вегетативных процессов организма человека [42; 48] на воздействие космогеофизических факторов, с одной стороны, и литературные сведения о физико-химических и биохимических механизмах, с другой стороны, доказывают очевидность многофакторного воздействия космогеофизических параметров на человека, который варьирует и модулируется сложной совокупностью глобальных физических факторов.

На рис. 2 видно, что на испытуемого Б-ова оказывают воздействие все факторы среды (22 связи). Испытуемых К-ина (11 связей) и Л-ко (10 связей) можно отнести к числу относительно резистентных.

Следует отметить избирательную чувствительность показателей функционального и психоэмоционального состояния к множественному влиянию факторов среды. Так, у испытуемого Б-ова наиболее чувствительными оказались показатели артериального давления и психоэмоционального состояния. У Л-ко наибольшей чувствительностью к воздействию изучаемых агентов оказалась ЦНС, уровень активации и функционального состояния которой опосредуется через параметры сенсомоторной реакции. Повышенная зависимость числа ошибок, скорости и стабильности сенсомоторных реакций от влияния факторов среды у испытуемых Б-ова и Л-ко может характеризовать уровень их операторской работоспособности как

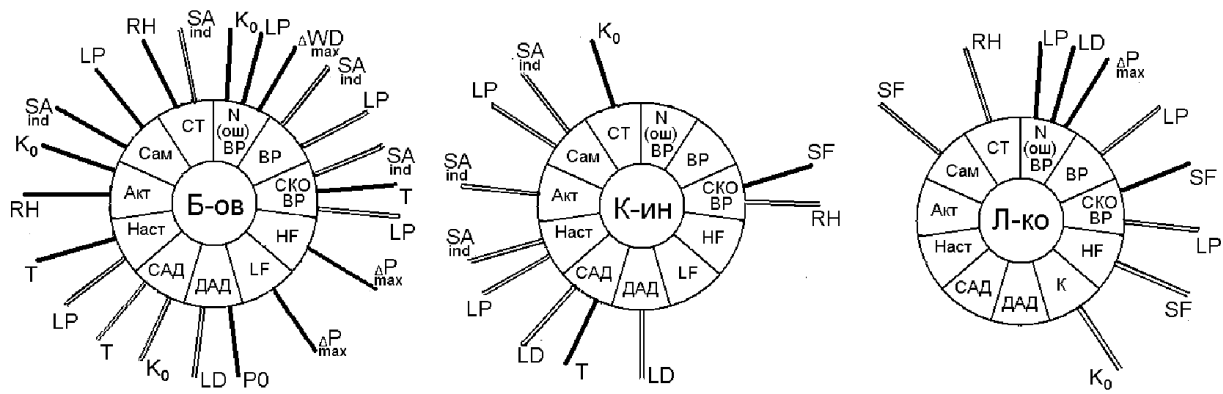


Рис. 2. Индивидуальная чувствительность испытуемых к гелиофизическим и метеорологическим факторам среды

Примечание: Б-ов, К-ин, Л-ко – обозначения испытуемых. Показатели: SF – вспышечной СА, SA_{ind} – обобщённый показатель СА (W и $F_{10.7}$), K_0 – индекс ГМА на момент обследования, LP – процент освещённости лунного диска, LD – расстояние от Луны до Земли, T – температура, RH – относительная влажность, P_0 – атмосферное давление, ΔP_{max} – максимальная величина изменения атмосферного давления в течение суток, ΔWD_{max} – максимальная величина изменения направления ветра в течение суток. САД, ДАД, К, HF – показатели кардиогемодинамики; СТ, Сам, Акт, Наст – показатели психоэмоционального состояния, N(ош)BP, BP, СКО BP – показатели СЗМР. Лучи: темный – положительная, светлый – отрицательная величина коэффициента регрессии (данные множественного регрессионного анализа, отображены только значимые коэффициенты регрессии).

более низкий в сравнении с другими участниками.

Таким образом, функциональное состояние организма, отражённое в физиологических и психосоматических показателях, модулируется множественным влиянием глобальных и локальных факторов среды, конечный результат воздействия которых на отдельные системы организма зависит от индивидуальной чувствительности к их раздельному и комбинированному влиянию.

В исследованиях космофизических корреляций и реакций живых организмов важно учитывать периоды и амплитуды изменений этих явлений [12]. Это связано с возможностью взаимодействия природных факторов и колебательных процессов биологических систем. Можно предположить, что чем ближе величина их периодов, тем сильнее взаимодействие. Явление захвата частоты и согласования фаз (синхронизация), возможности возникновения резонанса – один из вероятных механизмов наблюдаемых эффектов [10; 30]. Очевидно, при этом могут меняться и величина реакции живых систем (амплитудная модуляция), и перестройки биоритмики физиологических процессов (частотная

модуляция). Такие изменения в информационно-регуляционных процессах организма могут создавать не только повышенное напряжение регулирующих систем, но и вызывать дезрегуляторные расстройства, сопровождаемые нарушением общего функционального состояния и патологическими отклонениями в работе различных систем. Последние часто возникают у метеочувствительных людей и людей с явной или скрытой патологией [56]. В то же время на периодические фоновые колебания гелиофизических факторов накладываются нерегулярные возмущения, в основном связанные с изменением хромосферной активности Солнца. Эти возмущения, в частности магнитные бури, могут на порядок превышать фоновые периодические колебания ГМП. Если живые организмы чувствительны к периодическим колебаниям ГМП, погоды (о чем имеются многочисленные экспериментальные данные), то они не могут не реагировать на отдельные сильные возмущения. Учитывая физическую природу геомагнитных полей и эндогенных магнитных полей организма (в частности, магнитоэнцефалограммы), можно предположить, что взаимодействие ЭМП с био-

электрическими процессами живых существ может происходить даже на уровне слабых информационно-регуляционных взаимодействий.

В литературе есть данные об особенностях влияния электромагнитных полей и гравитационных возмущений на высшую нервную деятельность [6; 13; 17] и электрическую активность головного мозга [6; 53; 54; 55; 58; 61]. В экспериментальных исследованиях с использованием искусственных ЭМП показано, что под влиянием ЭМП выход Ca^{2+} из тканей мозга может увеличиваться [3; 59]. При воздействии низкочастотных ЭМП или попадании частоты модуляции СВЧ в спектр собственной ритмической активности, например, мозга, амплитуда отдельных ритмов ЭЭГ может увеличиться [53].

Геомагнитная активность и её периодические и внезапные возмущения сильнее всего проявляются в высоких широтах («полярные шапки»). Для этих областей характерно протекание особых явлений, а глобальные возмущения выглядят здесь несколько по-иному, чем на средних или умеренных широтах. Для полярных широт существует особый вид возмущений ионосферы, наступающих после больших хромосферных вспышек на Солнце и обусловленных солнечными космическими лучами, – «поглощение (космических радиошумов) в полярной шапке». Эти явления наступают спустя несколько часов после начала вспышки на Солнце [11].

Большинство работ, посвящённых влиянию электромагнитного, постоянного и переменного магнитных полей на организм, выполнены на животных в экспериментальных условиях с использованием искусственных электромагнитных полей. Работы же, в которых исследуется влияние геомагнитного поля Земли на биоэлектрическую активность головного мозга человека, и в частности на ЭЭГ, немногочисленны, разбросаны по нерегулярным публикациям, где изучаются, как правило, вторичные показатели ЭЭГ, такие как корреляции между отведениями ЭЭГ [7] или межполушарная асимметрия [41], либо представлены примеры отдельных наблюдений [39]. В силу больших трудно-

стей при сборе экспериментального материала и сложности при выделении «чистых» эффектов влияния на характеристики ЭЭГ именно фактора изменяющегося геомагнитного поля от других факторов проблема сопряжённых ответов биоэлектрической активности изучена мало.

Специальные исследования, выполненные нами на добровольцах до, во время и после возникновения магнитных бурь показали, что повышение уровня напряжённости магнитного поля влияет на биоэлектрические процессы мозга и характеризуется изменениями спектральной мощности ЭЭГ во всех частотных диапазонах: для дельта, тета и бета частот, наиболее выраженных в лобных областях коры, для альфа диапазона – преимущественно в теменных и затылочных областях. Эти изменения приводят к функциональной перестройке активности коры больших полушарий и подкорковых центров в соответствии с процессами саморегуляции функционального состояния мозга. Целью этих перестроек является обеспечение работы центральных механизмов регуляции, направленной на приспособление к изменяющимся условиям внешней среды. Изучение спектров мощности с подробным шагом по частоте и их временной динамике показал, что в каждом частотном диапазоне ритмов ЭЭГ существует довольно узкая частотная полоса, в которой у разных испытуемых наблюдаются одинаковые синхронные с возмущениями ЭМП колебания (рис. 3). Запуском таких колебаний является момент резкого скачка локального геомагнитного индекса К от малых значений (0–2) до почти предельно больших (6, 7) (в наших исследованиях). При этом синхронные колебания сохраняются на протяжении 3–4 суток. Исследования показали, что реакция ЭЭГ на внезапный скачок величины локального геомагнитного индекса до максимального значения следует практически немедленно и имеет длительное последствие.

Выявлена зависимость реакции ЭЭГ на ЭМП от исходной амплитуды ритмов ЭЭГ. Так, у лиц с малой мощностью альфа ритма магнитные бури вызывают увеличение его мощности, а у лиц с высокой

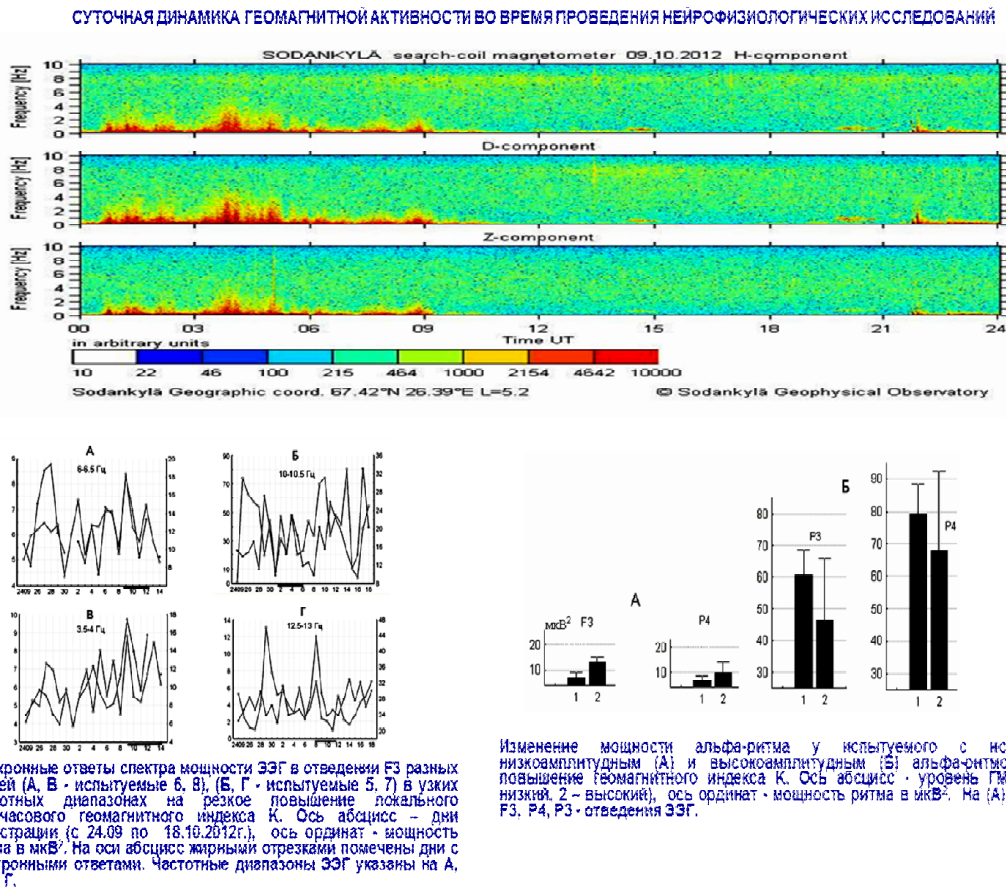


Рис. 3. Влияние резких изменений геомагнитного поля (магнитных бурь) на биоэлектрическую активность мозга человека

мощностью альфа ритма – снижение. Ослабление мощности спектра в диапазоне альфа ритма сопровождается повышением мощности в диапазоне тета ритма.

До сих пор было неясно, влияют ли возмущения геомагнитного поля преимущественно на амплитуду отдельных ритмов ЭЭГ, их частотные характеристики или при этом меняется и пространственно-временная организация суммарной биоэлектрической активности. Наши исследования показали, что у испытуемых с высоким уровнем пластичности нейродинамических процессов временная структура паттерна и пространственная организация ЭЭГ в ответ на резкие возмущения ГМП меняются незначительно и быстро возвращаются к исходному фону. У этих лиц не отмечены заметные нарушения функционального состояния и достоверные сдвиги психофизиологических параметров и показателей вегетативной регуляции. У лиц с низким уровнем пластич-

ности нейродинамических процессов происходит дестабилизация паттерна ЭЭГ, наиболее выраженная в лобных отделах мозга, что сопровождается повышенным психоэмоциональным напряжением, астеновегетативными проявлениями, снижением физической и умственной работоспособности. Нарушения функционального состояния у этих лиц сохраняются до 5 дней после затухания магнитной бури [42; 48].

Заключение. Несмотря на многочисленные исследования влияния «изолированных» климатических, метеорологических, гелиогеофизических факторов среды на психофизиологический статус человека, механизмы этих влияний раскрыты недостаточно, эффект сочетанного воздействия факторов изучен мало. В клинических и экспериментальных исследованиях остро встаёт проблема различий уровней метеолабильности и особенностей индивидуальных реакций на воздей-

ствия всех других факторов среды.

Показано, что воздействие гелиогеофизических факторов и погоды оказывает наибольшее влияние на процессы регуляции вегетативных функций, что находит отражение в характеристиках кардиогемодинамики [42; 48; 56; 63; 65; 68]. Между тем, реакции человека на воздействие природных факторов среды являются интегральным результатом, отражающим как прямое влияние на вегетативные процессы организма, так и опосредованное, через изменение центральных (мозговых) процессов их регуляции. Нами обнаружено, что вариации геомагнитной и солнечной активности оказывают как модулирующее, так и возмущающее влияние на процессы саморегуляции функционального состояния ЦНС, которые находят отражение в реакции амплитудно-частотных и пространственных характеристик биоэлектрической активности мозга. При исследовании влияния изменений ГМА на биоэлектрическую активность головного мозга человека необходима точная привязка к моментам возникновения, развития магнитной бури и в ближайшие дни после её прекращения. Более содержательная оценка общих и индивидуальных особенностей реакции организма на возмущения ГМП и солнечной активности может быть дана в процессе многодневного мониторинга. При этом для разработки интегральных критериев оценки биотропности гелиогеофизических факторов и индивидуальной чувствительности человека к их резким изменениям требуется также и поиск новых подходов, позволяющих количественно описывать общие, системные реакции мозга. Проведение таких исследований позволит выделить объективные маркеры нарушения центральных механизмов регуляции и развития дезадаптационных состояний у человека в дни с резкими перепадами погоды и возмущениями геомагнитного поля и солнечной активности, разработать методы оценки метеолабильности человека и профилактики метеопатий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустар-

наков В.Ф. Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном пространстве. Справочник. СПб.: Гидрометеоздат, 1994. 502 с.

2. Авакян С.В., Воронин Н.А. Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 4. С. 78–83.

3. Акоев И.Г., Каранова М.В., Кузнецова В.И., Коломыткин О.В. Действие СВЧ-поля на ГАМКэргические и ацетилхолинэргические системы синаптической передачи // Радиобиология. 1985. Т. 25. Вып. 3. С. 426–428.

4. Антипов В.В., Давыдов Б.И., Тихончук В.С. Биологическое действие электромагнитных излучений микроволнового диапазона // Проблемы космической биологии. М.: Наука. 1980. Т. 4. С. 222.

5. Артюхов В.Г., Ковалева Т.А., Шмелев В.П. Биофизика. Воронеж, 1944.

6. Белишева Н.К., Попов Н.А., Петухова Н.В. Качественная и количественная оценка воздействия вариаций геомагнитного поля на функциональное состояние мозга человека // Биофизика, 1995. Т. 40. Вып. 5. С. 1005–1012.

7. Белов Д.Р., Кануников И.Е., Киселев Б.В. Зависимость пространственной синхронизации ЭЭГ человека от геомагнитной активности в день опыта // Рос. физиол. журнал им. И. М. Сеченова. 1998. Т. 84. № 8. С. 761–774.

8. Бинги В.Н. Спиновые механизмы биологических эффектов слабых магнитных полей // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Междунар. Пушкинского симпозиума. Пущино, 1996. С. 124.

9. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). Ч. III. М.–Л.: Книга, 1928.

10. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явления захвата частоты // Проблемы космической биологии. 1982. Т. 43. С. 166–173.

11. Владимирский Б.М., Норманский В.Я., Темурьянц Н.А. Космические ритмы в магнитосфере, атмосфере, среде обитания, био-, ноосферах, в земной коре.

Симферополь, 1994. 176 с.

12. *Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темуриянц Н.А., Макеев В.Б., Самохвалов В.П.* Космос и биологические ритмы. Симферополь, 1995. 206 с.

13. *Воробейчиков В.М., Трошичев О.А., Горшков Э.С., Степанов В.В.* Влияние гравитационных возмущений на поведение человека и высших животных // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 2. С. 125–132.

14. *Галкина Н.С., Ухов Ю.И.* Гетерогенность реакций нейроцитов различных отделов головного мозга на многократное сверхвысокочастотное облучение // Невропатол. и психиатрия. 1979. Т. 79. № 7. С. 880.

15. *Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И.* Стохастические автоколебания в радиофизике, гидродинамике // Вестник АН СССР. 1980. № 10. С. 15.

16. *Горохов И.Е., Капылов А.Н., Михалев Е.С., Сташков А.М.* Геомагнитные корреляции в модификации реактивности организма при действии ионизирующей радиации в летальных дозах // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Международ. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 60.

17. *Григорьев П.Е.* Вклад гелиогеофизических факторов в динамику психических состояний // Геофизические процессы и биосфера. 2008. Т. 7. № 3. С. 63–69.

18. *Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н.* Введение в системный анализ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988.

19. *Дмитриевский И.М.* Магнитно-резонансный биофизический механизм слабых взаимодействий // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Международ. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 132.

20. *Дорман Л.И.* Космические лучи: состав, спектр, анизотропия и происхождение // Итоги науки и техники. Сер. Астрономия. 1988. Т. 33. С. 3–9.

21. *Дубров Ф.П.* Геомагнитные поля и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 175 с.

22. *Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П.* Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоровье, 1975. 175 с.

23. *Ершов Ю.А., Попков В.А., Берлянд А.С. [и др.].* Общая химия. Химия биогенных элементов / под ред. Ю.А. Ершова. М.: Высшая школа, 1993. 450 с.

24. *Жуковский А.П., Ровнов Н.В., Жуковский М.А.* Структура воды и ее состояние в модельных системах и биологических объектах // Проблемы ноосферы и устойчивого развития: матер. 1-й междунар. конф. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1966. С. 155.

25. *Зубарев В.Е.* Метод спиновых ловушек. М.: Изд-во МГУ, 1984.

26. *Зубрилов С.П.* Физическая активация растворов. Л., 1989.

27. *Иванов И.И., Зарембский Р.А., Коровкин Б.Ф. [и др.].* Введение в клиническую биохимию (основы патобиохимии) / под ред. И.И. Иванова. М.: Медицина, 1969.

28. *Казначеев В.П.* Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. 191 с.

29. *Кешнер М.С.* Шум типа 1/f // ТИИЭР. 1982. Т. 70. № 2. С. 60.

30. *Кисловский Л.Д.* Реакции биологической системы на адекватные ей слабые низкочастотные электромагнитные поля // Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982. Т. 43. С. 148–166.

31. *Кисловский Л.Д.* О роли воды в первичных механизмах воздействия гелиофизических факторов на простейшие модели живых систем // Электромагнитные поля в биосфере. М.: Наука, 1984. С. 240.

32. *Коган И.М.* Сверхслабые взаимодействия – как проблема // Сверхслабые взаимодействия в технике, природе и обществе: тезисы докл. М., 1993. С. 5.

33. *Кузичева Е.А., Симаков М.Б., Малько И.Л. [и др.].* Абиогенный синтез и деструкция биологически важных молекул под действием вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения и заряженных частиц // Проблемы ноосферы и устойчивого развития: матер. 1-й междунар. конф. СПб.: Изд-во СПбУ, 1996. С. 178.

34. *Лобышев В.И., Шахлинская Р.Э., Рыжиков Б.Д.* Вода как сенсор и преобразователь слабых полей электромагнитной природы // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Междунар. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 138.
35. *Мастихирн И.В., Николин В.П., Тесленко В.С. [и др.]*. Повышение чувствительности опухолевых клеток к циклофосфану в результате ударно-волнового воздействия // Доклады АН. 1995. Т. 342. № 2. С. 262.
36. *Никольский Г.А., Шульц Е.О.* Неустойчивость спектральной солнечной радиации и трансформация оптических свойств атмосферы – фундаментальные факторы воздействия солнечной активности на биосферу // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Междунар. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 140.
37. *Новиков В.С., Сороко С.И.* Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб.: Политехника-принт. 2017. 476 с.
38. *Павлова Г.Н., Музалевская Н.Н., Соколовский В.В.* Влияние слабого переменного электромагнитного поля как активность ферментов энергетического обмена нервной ткани // Матер. 7-й нейрохимической конференции. Л., 1976. С. 151.
39. *Парфенов В.А., Парфенов В.А., Доронин В.Н., Тлеулин С.Ж., Намвар Р.А., Совенков В.М.* Ритмы биоэлектрической активности мозга и ее корреляции с вариациями геомагнитного поля // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Мир, 1998. 432 с.
40. *Пасько О.А., Семенов А.В.* О роли двойных электрических слоев во взаимодействии объектов живой и неживой природы // «Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы докл. 4-го Междунар. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 143.
41. *Раевская О.С., Рыжиков Г.В.* Динамика межполушарной асимметрии при изменении геомагнитного поля. // Физиология человека. 1984. Т. 10. № 3. С. 471–473.
42. *Рожков В.П., Трифонов М.И., Бекшаев С.С., Белишева Н.К., Пряничников С.В., Сороко С.И.* Оценка влияния геомагнитной и солнечной активности на биоэлектрические процессы мозга человека с помощью структурной функции // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2016. Т. 102. № 12. С. 1479–1494.
43. *Рубин А.Б.* Лекции по биофизике. М., 1994.
44. *Руцай С.В.* Действие дециметровых волн на восстановление условных рефлексов и содержание нуклеиновых кислот после разрушения сенсомоторной коры головного мозга // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 1987. № 5. С. 11.
45. *Сельков Е.Е.* Математическое моделирование полиферментных систем // Биофизика сложных систем и радиационных нарушений. М.: Наука, 1977. С. 76.
46. *Семеняня И.Н.* Проблема влияния космогеофизических факторов на формирование свойств развивающегося организма в период раннего онтогенеза // Авиакосмич. и экологич. медицина. 1995. Т. 29. № 3. С. 8.
47. *Сороко С.И., Лушинов М.С.* Влияние многолетних вариаций космических ритмов на биохимические параметры человека // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 1. С. 89–101.
48. *Сороко С.И., Бекшаев С.С., Белишева Н.К., Пряничников С.В.* Амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека при сильных возмущениях геомагнитного поля // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 111–122.
49. *Степанюк И.А.* Влияние слабых переменных магнитных полей на физико-химическую систему двойного слоя // Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелиогеофизическими факторами: тезисы

докл. 4-го Междунар. Пушинского симпозиума. Пушино, 1966. С. 148.

50. *Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г.* Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наук. думка, 1992. 187 с.

51. *Удальцова Н.В.* Об отнесении макроскопических флуктуаций в водных растворах белков и других веществ к классу фликкер-шумов // *Биофизика*. 1982. Т. 27. № 3. С. 529.

52. *Физико-химические методы в токсикологии* / под ред. К.Н. Зеленина. Л.: ВМедА, 1988.

53. *Холодов Ю.А.* Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982. 123 с.

54. *Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н.* Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 208 с.

55. *Холодов Ю.А., Шило М.А.* Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.

56. *Шеповальников В.Н., Сороко С.И.* Метеочувствительность человека. Бишкек: Илим, 1992. 248 с.

57. *Шноль С.Э.* Влияние света и свойств внешней среды на амплитуду «конформационных» колебаний актомиозина // *Биофизика*. 1968. Т. 13. № 5. С. 853.

58. *Adey W.R., Bawin S.M.* Brain interactions with weak electric and magnetic fields // *Neurosci. Res. Program Bull.* 1977. Vol. 15. № 1. P. 255–270.

59. *Adey W.R., Bawin S.B., Lawrence A.F.* Effects of weak amplitude-modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex // *J. Bioelectromagnetics*. 1982. Vol. 3. P. 295–307.

60. *Barnothy M.F.* Biological effects of magnetic fields. N.Y., 1964. P. 127–131.

61. *Bhashara D.S., Srivastava B.I.* Influence of solar and geomagnetic disturbances on road traffic accidents // *Bull. Nat. Geophys. Res. Inst. (India)*. 1970. Vol. 8. № 1-2. P. 32–47.

62. *Belyaevn J.Y., Alipov Y.O., Shcheglov V.S., Lystov V.N.* Resonance effect of microwaves on the genome conformational state of *E. coli* cells // *Z. Naturforsch.* 1992. Vol. 47. № 7-8. P. 621.

63. *Cornélissen G., Halberg F., Sothorn R.B., Hillman D.C., Siegelová J.* Blood pressure, heart rate and melatonin cycles synchronization with the season, earth magnetism and solar flares // *Scr. Med. (Brno)*. 2010. V. 83. № 1. P. 16–23.

64. *Foster R.G., Roenneberg T.* Human Responses to the Geophysical Daily, Annual and Lunar Cycles. Review // *Current Biology*. 2008. Vol. 18. № 17. P. 784–791.

65. *Gmitrov Ju., Gmitrova A.* Geomagnetic Field Effect on Cardiovascular Regulation // *Bioelectromagnetics*. 2004. V. 25. P. 92–103.

66. *Jakson D.F.* Particles and tissue. Another aspect of heavy ion and pion physics // *Phys. Bull.* 1981. Vol. 32. № 2. P. 48.

67. *Musha T., Yamamoto M.* 1/f-like Fluctuations of Biological Rhythm // *Proc. 13-th Int. Conf. "Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations"*. Palanga, Lithuania, 29 May-3 June 1995 / Ed. V. Bareikis, R. Katilius. Singapur; New Jersey; London; Hong Kong: World Scientific, 1995. P. 22.

68. *Oinuma S., Kubo Y., Otsuka K.* ICEHRV Working Group. Graded response of heart rate variability associated with an alteration of geomagnetic activity in a subarctic area // *Biomed. Pharmacotherapy*. 2002. Vol. 56. № 2. P. 284–288.

69. *Shepard A.R., Eisenbud M.* Biological effects of electric and magnetic fields of extremely low frequency. N.Y.: Univ. press, 1977. 213 p.

70. *Timashev S.F., Kostiuotchenko I.G.* Flicker-noise in solar and terrestrial processes // *Proc. 13-th Int. Conf. Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations*. Palanga. Lithuania, 29 May-3 June 1995 / Ed. V. Bareikis, R. Katilius. Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: World Scientific. 1995. P. 336.