

УДК 57.045, 57.02

## ЭФФЕКТЫ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ И ВОЗМОЖНЫЙ БИОФИЗИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ИХ ВЛИЯНИЯ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА

© 2010 г. Г.А. Михайлова<sup>1</sup>, С.Э. Смирнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл., Россия

<sup>2</sup> Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, Россия

Приведены результаты исследований влияния геомагнитной активности на вариации напряженности квазистатического электрического и горизонтальной компоненты геомагнитного поля в полосе периодов тепловых приливных волн и волн планетарного масштаба. Показано изменение интенсивностей и периодов колебаний в спектрах мощности этих геофизических параметров синхронно с вариациями  $K_p$ -индекса. С учетом того обстоятельства, что эти параметры связаны с вариациями атмосферного давления, предложен возможный биофизический механизм связи состояния сердечно-сосудистой системы человека с геомагнитной активностью через резонансное взаимодействие со средой обитания. В период высокой геомагнитной активности ее свойства (атмосферное давление и температура) изменяются из-за увеличения прозрачности атмосферы вследствие Форбуш-понижения интенсивности потоков космических лучей, и именно эти изменения оказываются фактором, непосредственно воздействующим на человека.

*Ключевые слова:* квазистатическое электрическое поле, вариации геомагнитного поля, сердечно-сосудистая система человека, геомагнитная активность, механизм влияния

PACS 87.50.cf

### Введение

Многочисленные медицинские исследования в нашей стране и за рубежом, начатые работами А.Л. Чижевского [1995], показали периодическое влияние солнечной активности на здоровье людей [Халберг и др., 2009]. Особое внимание было уделено изучению этого влияния на деятельность сердечно-сосудистой системы. При этом акцент ис-

следований со временем сместился на изучение эффектов геомагнитных возмущений – малых и больших магнитных бурь. В настоящее время этому научному направлению посвящена обширная литература [Cornelissen et al., 2002].

В то же время известно, что люди с заболеваниями сердечно-сосудистой системы чувствительны к изменению метеорологических параметров окружающей среды – давления, температуры, облачности, атмосферных осадков, ветра [Козырева, Сидорина, 2008]. Это наводит на мысль, что, возможно, связь состояния здоровья человека с геомагнитной активностью осуществляется через вариации метеорологических параметров, т.е. через изменение среды обитания во время геомагнитных возмущений.

В течение многих лет в разных странах исследования биологических эффектов геомагнитных возмущений проводятся практически независимо друг от друга в двух различных направлениях – в области гелиомедицины и климатологии. В настоящей работе предпринята попытка объединения двух этих направлений.

### **Влияние геомагнитной активности на состояние сердечно-сосудистой системы**

В области гелиомедицины эти исследования выполняются как косвенными (например, учет количества ежесуточных обращений людей за медицинской помощью, учет смертности больных от инфаркта миокарда и инсульта), так и прямыми методами (путем изучения вариаций физиологических параметров: сердечный ритм, артериальное давление, состав крови и др.). Обзор современного состояния исследований в этом направлении представлен в работе [Cornelissen et al., 2002]. На достаточно большом объеме статистически достоверных данных показано влияние магнитных бурь на деятельность сердечно-сосудистой системы человека, роста числа заболеваний и числа смертности от болезней сердечно-сосудистой системы, изменений частоты сердечного ритма, состояния иммунной системы и других заболеваний. Исследована зависимость этих эффектов от фазы цикла солнечной активности, географического местоположения. Но при этом даже при высокой статистической значимости результатов коэффициент корреляции между медицинскими показателями и  $D_{st}$ -индексом геомагнитной активности имеет малую величину.

В следующем более полном обзоре [Palmer et al., 2006] по сравнению с работой [Cornelissen et al., 2002] дополнительно обсуждаются также возможные механизмы влияния геомагнитной активности на здоровье человека. В этих двух обзорах основное внимание сосредоточено на морфологическом описании связи состояния сердечно-сосудистой системы человека с геомагнитной активностью.

Поскольку авторов настоящей работы интересует эта связь в частотной области, кратко рассмотрим некоторые результаты, имеющие отношение к данной проблеме. Так, в работе [Виллорези и др., 1995] исследована связь ежесуточных обращений за медицинской помощью больных с сердечно-сосудистой патологией. Ряды данных, очищенные от социальных эффектов, сравнивались с вариациями  $K_p$ -индекса, ориентацией межпланетного магнитного поля и с Форбуш-понижением галактических космических лучей. Показано, что основным фактором влияния на возрастание количества обращений за медицинской помощью являются геомагнитные бури.

Результаты спектрального анализа частоты вызовов скорой помощи к кардиологическим больным и трехчасовых значений  $K_p$ -индекса за достаточно длительный период регистрации на Камчатке приведены в работе [Вершинина и др., 2000]. Одновременно в спектрах мощности числа вызовов скорой помощи и  $K_p$ -индекса выделен преобладаю-

ший максимум при значениях периодов  $T \sim 4.53\text{--}5.99$  сут для женщин и  $T \sim 29.2, 13.40, 6.90, 5.80\text{--}4.53$  сут для мужчин. Аналогичные результаты одновременного спектрального анализа количества вызовов скорой медицинской помощи и трехчасовых значений  $K_p$ -индекса приведены также в работах [Самсонов и др., 2004; Черноус, 2004]. Обнаруженные одинаковые ритмы с периодами 29–32, 13.5, 6.9, 5.8–4.5 сут близко совпадают со средним периодом и гармониками собственного вращения Солнца ( $T_1 \sim 27$  сут (648 ч),  $T_2 \sim 13\text{--}14$  сут (312–336 ч),  $T_3 \sim 9\text{--}10$  сут (216–240 ч),  $T_4 \sim 7$  сут (168 ч),  $T_5 \sim 5\text{--}5.5$  сут (120–132 ч).

В работе [Гамбурцев и др., 2008] приведены амплитудные спектры частоты сердечных сокращений и артериального давления одного пациента в течение длительного времени ( $\sim 6$  мес). Выделены устойчивые колебания с периодами  $T = 24, 12, 8$  ч и нерегулярные колебания с  $T \sim 5$  и 7 сут. Сильная магнитная буря не вызвала сколько-нибудь заметных изменений в наблюдаемых параметрах. Вместе с тем в их среднесуточных значениях и в спектрально-временных характеристиках обнаружена десинхронизация суточного ритма в зимние месяцы. Этот факт наводит на мысль, что, возможно, пациент оказался более чувствительным к вариациям метеорологических параметров, либо магнитная буря имела какие-то особенности. Обнаружено также, что вариации частоты сердечных сокращений оказались более чувствительными к внешнему воздействию. Нарушения суточного ритма сердца под влиянием геомагнитной активности обнаружены также в работах [Гурфинкель, Парфенова, 2004; Черноус, 2004].

Связь вариаций градиента потенциала квазистатического электрического поля в приземной атмосфере ( $E_z$ -компоненты поля) с состоянием кардиологических больных исследована группой сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [Борисенков и др., 2000, 2003]. Исследована связь среднесуточных значений градиента потенциала и атмосферного давления с состоянием пациентов кардиологического санатория в разные сезоны: осенне-зимний, весенний и летний. Показано, что падение атмосферного давления сопровождается уменьшением градиента потенциала электрического поля и ухудшением состояния кардиологических больных. Наиболее сильная зависимость проявляется в осенне-зимний сезон, поскольку в этот сезон имеют место крупномасштабные колебания атмосферного давления. Эти результаты позволили авторам утверждать, что фактором, ответственным за изменение состояния кардиологических больных, являются вариации квазистатического электрического поля в приземной атмосфере, а не давления. Этот результат вызывает сомнение, поскольку он противоречит результатам, полученным самими авторами в осенне-зимний сезон.

### **Влияние геомагнитной активности на состояние окружающей среды**

Вторая группа работ, имеющих отношение к поставленной задаче, касается результатов исследований солнечно-атмосферных связей. Этой области исследований также посвящена обширная литература, обзор которой в целом выходит за рамки данной статьи. Ниже кратко рассмотрены лишь результаты исследований влияния корпускулярных потоков на атмосферные процессы во время геомагнитных бурь. Их влияние было обнаружено сравнительно давно. В частности, в работе [Митра, 1974] были выделены полугодовые вариации плотности, давления и температуры в тропосфере в фазе с геомагнитными индексами, а во время сильных геомагнитных возмущений было обнаружено увеличение давления.

В нашей стране эти работы были инициированы Э.Р. Мустелем и его коллегами [Мустель, 1973, 1974; Мустель и др., 1977, 1979]. Впервые было показано, что магнит-

ные бури приводят к изменению барической структуры в северном полушарии таким образом, что в одних районах наблюдается положительный скачок давления, а в других отрицательный. При этом скорость и направление ветра повторяют закономерности изменения давления. Метод наложенных эпох позволил оценить квадрат коэффициента когерентности  $\gamma^2 \sim 0.65$  на второй и третий день после начала магнитной бури [Мустель, 1974]. Эта величина существенно выше коэффициентов корреляции, приведенных в работе [Palmer et al., 2006] для оценки связи параметров сердечно-сосудистой системы с геомагнитной активностью.

Исследования зависимости вариаций давления от широты показали, что на высоких широтах скачки давления во время магнитных бурь существенно выше, чем на низких. Чтобы объяснить наблюдаемые изменения в пространственном распределении атмосферного давления, естественно было предположить наличие притока дополнительного тепла в нижние слои атмосферы. При этом источник его не был определен.

Одновременные наблюдения давления и температуры атмосферы, выполненные в работе [Давыдова, Давыдов, 1995] в период максимума (1979–1983 гг.) и минимума (1985–1987 гг.) солнечной активности, позволили выделить в их спектрах устойчивые колебания с периодами  $T \sim 13.5$  и  $27\text{--}28$  сут и менее устойчивые с  $T \sim 9, 17, 23$  и  $31\text{--}32$  сут. В работе [Смирнов и др., 2003] также исследована частотная структура связи между числом солнечных пятен и величиной геомагнитной активности (через параметр  $aa$ ) в зависимости от месяцев и сезонов года в период 1890–1990 гг. Оценен квадрат коэффициента когерентности между этими параметрами. Получено, что для квазидесятилетних ( $T_{10}$ ) и квазипятилетних ( $T_5$ ) колебаний  $\gamma^2 \sim 0.75\text{--}0.9$ , а для квазитрехлетних ( $T_3$ ) и квазидвухлетних ( $T_2$ ) –  $\gamma^2 \sim 0.6\text{--}0.8$ .

Таким образом, в приведенных выше работах рассмотрены преимущественно длиннопериодные (от нескольких суток до нескольких лет) вариации приземного давления во время геомагнитных возмущений.

### **Возможные биофизические гипотезы влияния геомагнитной активности на организм человека**

Несмотря на достаточно убедительные результаты влияния солнечной и геомагнитной активностей на организм человека до сих пор отсутствуют определенные представления о возможном механизме этого влияния, описывающем весь комплекс наблюдаемых явлений. Прямое воздействие слабых естественных электрических, магнитных и электромагнитных полей кажется маловероятным из-за наличия в окружающей среде шумов антропогенных источников. Поэтому более предпочтительными оказались физические гипотезы, в основе которых лежит явление резонанса между колебательными системами. Это так называемые параметрический, стохастический, ионно-циклотронный, шуманновский и другие резонансы [Palmer et al., 2006].

Основанием для такого подхода служит факт наличия выделенных ритмов в организме человека и среде обитания. Так, в организме человека физиологические макропроцессы имеют следующую резонансную структуру:

- суточный ритм (24 ч) и его гармоники;
- биоритмы мозга –  $\alpha$ -ритм (8 – 13 Гц);  $\beta$ -ритм (14 – 30 Гц);  $\gamma$ -ритм (более 30 Гц);  $\theta$ -ритм (4 – 7 Гц);  $\delta$ -ритм (1.5–3 Гц);
- сердечный ритм (1 Гц).

В среде обитания также присутствуют эти ритмы. Суточный ритм связан с тепловым воздействием Солнца, которое вызывает тепловые приливные колебания давления, температуры и ветра в атмосфере с периодами  $T = 24, 12, 8, 4$  ч. Ритмы в полосе частот 8–30 Гц обусловлены колебаниями естественного электромагнитного поля в полости Земля – нижняя граница ионосферы, возбуждаемыми грозowymi разрядами на частотах шуманновских резонансов. Ритмы с частотой  $\sim 1$  Гц – это медленные, практически квазистатические колебания электрического и геомагнитного полей, колебания атмосферных параметров – температуры и давления. Эти поля в среде обитания человека присутствуют постоянно, но их интенсивность и периодичность изменений зависят от солнечной активности и, как следствие, от геомагнитной активности.

Наибольший интерес среди исследователей причинно-следственных связей в паре «человек – среда обитания» вызвал так называемый шуманновский резонанс. Физическая природа этого явления состоит в следующем. В замкнутой полости (резонаторе), образованной поверхностью Земли и нижней границей ионосферы, молниевые разряды постоянно возбуждают электромагнитные колебания на частотах ниже 30 Гц. Интенсивность этих колебаний определяется совокупностью молниевых разрядов, одновременно происходящих в атмосфере с частотой порядка 100–200 сигналов в секунду, а частоты этих колебаний имеют дискретную структуру. В. Шуманн [*Schumann, 1952*] впервые теоретически предсказал существование электромагнитных колебаний на собственных частотах этой полости и для модели с ее идеально проводящими стенками вывел упрощенную формулу следующего вида:

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света;  $a$  – радиус Земли. Для  $n = 1-5$  эти частоты соответственно равны:  $f_1 = 10.6$ ;  $f_2 = 18.3$ ;  $f_3 = 25.9$ ;  $f_4 = 33.5$ ;  $f_5 = 41.1$  Гц. В этой формуле отсутствуют физические свойства стенок полости.

Экспериментально колебания, частоты которых близко совпадали с теоретическими значениями из работы [*Schumann, 1952*], в вариациях естественного электромагнитного шума были впервые обнаружены в работе [*Konig, 1971*]. Было также отмечено совпадение этих частот с частотами биотоков мозга. В этой связи автор работы [*Konig, 1971*] предположил, что естественные электромагнитные сигналы на этих частотах, постоянно существующие в среде обитания человека, могут быть синхронизаторами внутренних (эндогенных) биологических ритмов в организме человека, и человек за длительный период эволюции приобрел способность адаптироваться к вариациям этих полей. Более того, модельные эксперименты по влиянию искусственных сигналов на головной мозг в полосе частот 8.5–9.5 Гц, выполненные автором, показали, что даже очень слабые сигналы ( $\sim 2$  мкВ) способны повлиять на время реакции человека.

Эти результаты впоследствии использовались многими авторами в предлагаемых гипотезах влияния солнечной и магнитной активностей на здоровье человека. Так, в работе [*Kleimenova, Troitskaya, 1992*] взаимодействие в паре «человек – среда обитания» сводится к резонансному поглощению энергии электромагнитного поля организмом человека на выделенных частотах. Ослабление ее может вызвать негативное влияние на организм. Эта идея резонансного поглощения получила дальнейшее рассмотрение в работе [*Cherry, 2002*]. В модели, предложенной в работе [*Владимирский и др., 1995*], человек рассматривается как автоколебательная система с выделенными частотами, на которую непосредственно действует внешнее электромагнитное поле. Возмущения на Солнце вызывают изменения интенсивности спектра поля у поверхности

Земли в полосе шуманновских резонансов. Это, в свою очередь, вызывает сдвиги в физиологических функциях организма человека.

На наш взгляд, недостаток этих гипотез заключается в том, что в них взаимодействие пары «человек – среда обитания» рассматривается только на энергетическом уровне, без учета вариаций частот резонансов под влиянием солнечной и геомагнитной активностей и, соответственно, изменений свойств нижней ионосферы. В действительности именно нижняя граница ионосферы наиболее всего подвержена влиянию солнечной активности. В полосе резонансов это влияние проявляется в несовпадении экспериментально наблюдаемых частот с теоретически предсказанными значениями для полости с идеально проводящими стенками (формула 1), а также в суточных вариациях резонансных частот.

Эти экспериментальные факты были интерпретированы в работе [Wait, 1965]. Автор решил более строгую задачу о возбуждении колебаний в полости с учетом их затухания и в модели резонатора без учета влияния магнитного поля получил следующее аналитическое выражение для резонансных частот:

$$f_n' = f_n \left( 1 - \frac{\Omega_n}{f_n} \right), \quad (2)$$

где  $\Omega_n \sim \frac{1}{h} \sqrt{f_n / (N / v_{\text{эфф}})}$ ;  $h$  – высота нижней границе ионосферы;  $N$  – концентрация электронов;  $v_{\text{эфф}}$  – эффективная частота соударений электронов с нейтральными частицами.

Это позволило по-другому взглянуть на связь организма человека с солнечной и геомагнитной активностями и предложить иной возможный механизм связи.

В работах [Михайлова, 2001, 2004; Mikhailova, Mikhailov, 2004] в паре «человек – среда обитания», в отличие от модели, развиваемой в работах [Владимирский и др., 1995], человек рассматривается не как автоколебательная система, на которую непосредственно воздействуют внешние геофизические факторы, а как элемент двух взаимосвязанных колебательных систем. Внешние геофизические факторы воздействуют на среду обитания, вызывая соответствующий отклик в организме человека. В данной модели под действием процессов на Солнце, согласно формуле (2), изменяется частота внешнего для человека синхронизатора и нарушается равновесие биологических ритмов в системе «человек – среда обитания». Здоровые люди без каких-либо патологий успешно справляются с этими изменениями. Дискомфорт испытывают люди с нарушенной системой адаптации.

Этот подход используется и в данной работе. Предлагается рассмотреть эффекты геомагнитной активности на состояние сердечно-сосудистой системы человека через влияния их на среду обитания на резонансных частотах менее 1 Гц. В организме человека – это сердечный ритм, а в среде обитания – это медленные квазистатические колебания электрического и геомагнитного полей, колебания атмосферных параметров: температуры и давления.

Влияние геомагнитной активности в частотной области на параметры атмосферы на больших временных масштабах рассмотрено во введении. Ниже будут приведены результаты оригинальных исследований короткопериодных волновых процессов в приземной атмосфере во время геомагнитных возмущений, выполненных авторами. В качестве исходных экспериментальных данных использованы суточные вариации электрического и геомагнитного полей, которые косвенно связаны с вариациями атмосферного давления. Полученные результаты в совокупности с литературными данными по-

зволили сформулировать возможный биофизический механизм взаимодействия сердечно-сосудистой системы человека с метеорологическими параметрами среды обитания в процессе развития геомагнитных возмущений.

### Использованные данные и методы их анализа

В качестве исходных экспериментальных данных для характеристики среды обитания человека использованы записи суточных вариаций квазистатического электрического поля ( $E_z$ -компонента) и горизонтальной  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля. Известна зависимость изменчивости напряженности  $E_z$ -компоненты поля от вариаций давления, температуры и осадков. Эта связь реализуется через вариации объемной активности радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) – главного ионизирующего фактора приземной атмосферы, которая, в свою очередь, связана с атмосферным давлением и температурой [Clements, Wilkening, 1974; Михайлов и др., 2002; Zoran, 2002].

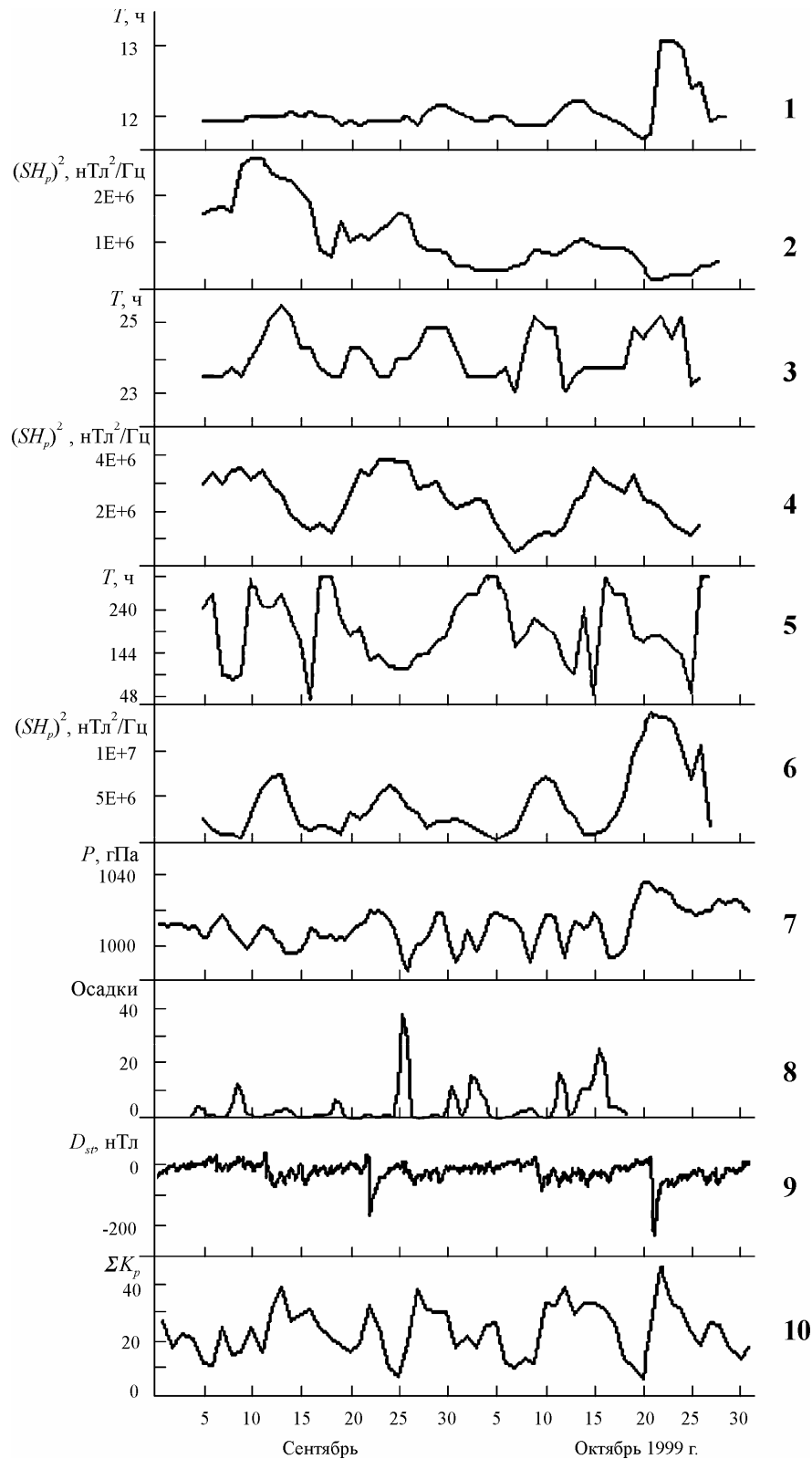
Динамика среднесуточных значений уровня объемной активности подпочвенного радона в различных регионах проявляет всплеск активности в период геомагнитных бурь. В вариациях амплитудных спектров объемной активности была обнаружена четко выраженная периодичность с периодом  $T \sim 27$  сут [Шемьи-заде, 1992] и  $T \sim 32\text{--}28, 12.8\text{--}13.5$  сут [Фирстов, 1999]. Выделенные периоды указывают на связь объемной активности радона с корпускулярными потоками от Солнца. Также известна связь геомагнитных вариаций с колебаниями атмосферного давления [Бычков, 1982].

Первые результаты спектральной обработки суточных вариаций этих геофизических параметров показали, что в их спектрах мощности присутствует полный набор колебаний в широкой полосе периодов, совпадающих с периодами атмосферных волн. Это внутренние гравитационные волны ( $T = 0.5\text{--}3.5$  ч), тепловые приливные волны ( $T = 4, 8, 12, 24$  ч) и волны планетарных масштабов ( $T > 24$  ч) [Михайлов и др., 2003; Михайлова и др., 2009а,б].

С учетом этого факта в данной работе использованы суточные вариации напряженности  $E_z$ -компоненты поля и  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля, измеренные одновременно на Камчатке (обс. «Паратунка», ИКИР ДВО РАН,  $\varphi=52.97^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=158.25^\circ\text{E}$ ) с дискретностью по времени 1 мин. Для анализа выбран период наблюдений сентябрь–октябрь 1999 г. (Для  $E_z$ -компоненты только сентябрь из-за пропусков в данных в октябре). Уровень геомагнитной активности ( $\Sigma K_p$  и  $D_{st}$ -вариации), а также среднесуточные колебания атмосферного давления и осадков показаны на рис. 1).

Видно, что в этот период наблюдались четыре всплеска геомагнитной активности длительностью  $\sim 4\text{--}8$  сут, на фоне которых имели место изолированные бури с  $D_{st}$ -вариацией  $\sim 180$  нТл (22 сентября) и  $\sim 250$  нТл (22 октября), осадки, особенно мощные ( $\sim 40$  мм/м<sup>2</sup>) 25–26 сентября, сильное землетрясение 18 сентября с параметрами 21.28:33.17 UT,  $\varphi = 51.21^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 157.56^\circ\text{E}$ ,  $h = 60$  км,  $M = 6.0$ , а также более слабые землетрясения 6 сентября с параметрами 15.04:52.81 UT,  $\varphi = 52.10^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 159.15^\circ\text{E}$ ,  $h = 55$  км,  $M = 5.0$ ; 5 и 24 октября с параметрами 05.01:35.94 UT,  $\varphi = 51.21^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 157.61^\circ\text{E}$ ,  $h = 76$  км,  $M = 5.6$  и 12.24:50.07 UT,  $\varphi = 52.23^\circ\text{N}$ ,  $\lambda = 159.65^\circ\text{E}$ ,  $h = 44$  км,  $M = 5.3$  соответственно (данные сейсмической службы на Камчатке).

С учетом продолжительности геомагнитной активности для оценки спектральной плотности мощности  $S^2$  (далее для краткости – спектры мощности) исходных записей  $E_z(t)$  и  $H_p(t)$  выбрано прямоугольное «окно» длительностью  $t_i=8$  сут, которое смещалось через одни сутки вдоль временного ряда данных. Для оценки спектров мощности



**Рис. 1.** Вариации интенсивности максимумов в спектре мощности  $(SH_p)^2$  и длительности периодов  $T$  этих максимумов вблизи  $T \sim 12$  (кривые 2 и 1), 24 (4 и 3) и 192 ч (6 и 5). Приведены также графики среднесуточных значений давления  $P$ , гПа (7), осадков, мм/м<sup>2</sup> (8), минутные значения  $D_{sp}$ -вариаций, нТл (9) и суточные значения  $\Sigma K_p$  – индекса (10).



исходные данные, измеренные с дискретностью 1 мин, усреднялись на интервале 8 мин, исключалось их среднее значение и полученный новый ряд значений дополнялся нулями до периода, в два раза превышающего исходную длительность. Эта процедура позволяет получать более детальное представление спектров по частоте и расширять их в область более низких частот.

## Основные экспериментальные результаты

### *Спектры мощности горизонтальной $H_p$ -компоненты геомагнитного поля*

На рис. 2 приведен пример спектральной обработки исходных записей  $H_p$ -компоненты. В данном примере не был использован прием увеличения длительности исходного ряда до 16 сут в отличие от всех последующих графиков спектров.

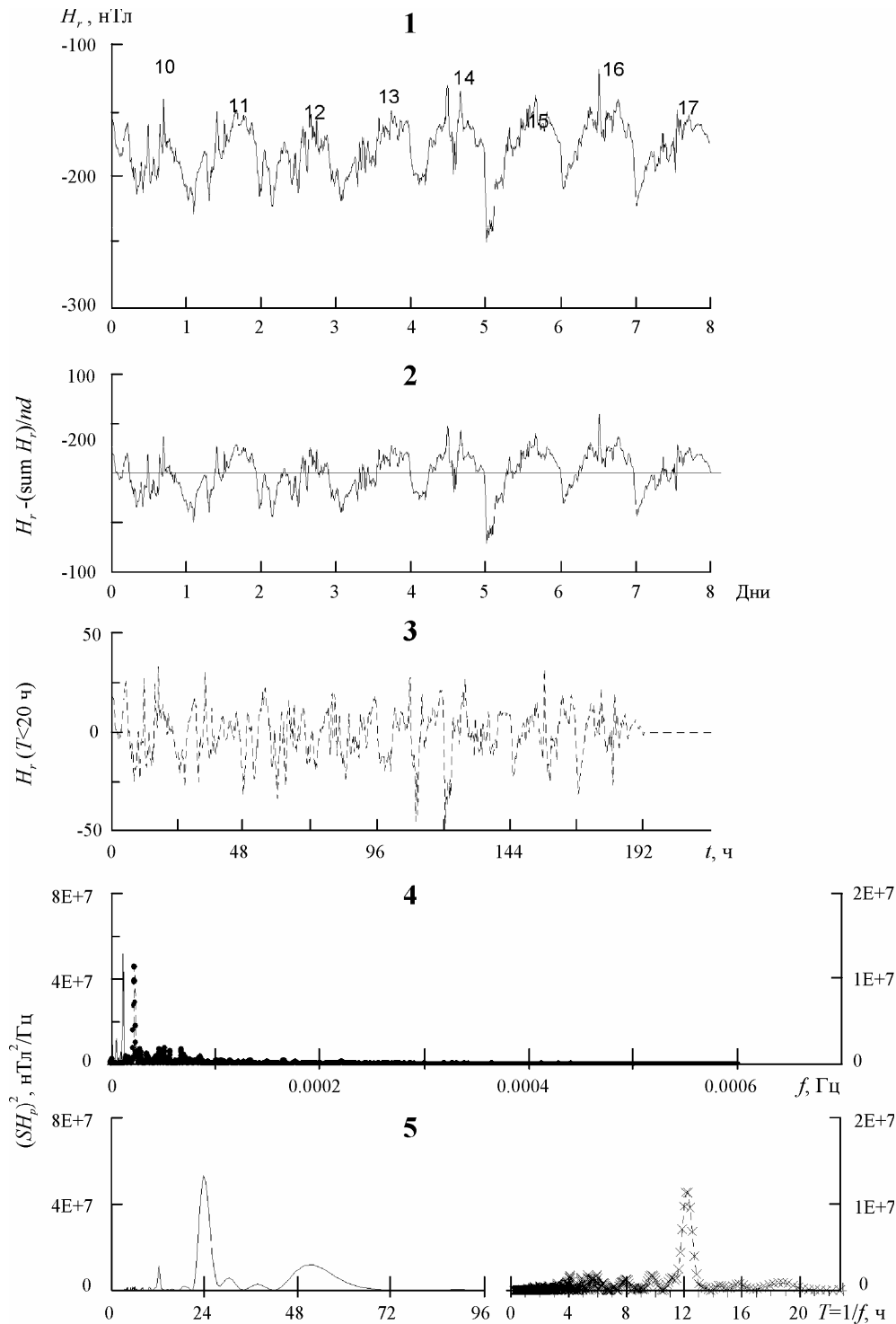
На следующем рисунке (рис. 3) показаны выборочные фрагменты динамических спектров  $S^2(f)$  для спокойных геомагнитных условий (01.09–13.09) и при высокой геомагнитной активности (07.09–19.09 и 16.09–28.09). Полный набор динамических спектров в период сентябрь – октябрь 1999 г. приведен в работе [Михайлова и др., 2009а].

Фрагмент 01.09–13.09 представляет собой последовательность спектров мощности на интервале  $t_i = 8$  сут через одни сутки в спокойный период, когда  $K_p < 4$  и  $\Sigma K_p < 25$ . Четко выделяются устойчивые колебания с периодами  $T \sim 24, 12, 8$  ч практически постоянной интенсивности и постоянной длительности периодов. В отдельные дни (01.09–08.09 и 06.09–13.09) в спектрах мощности появляются колебания в полосе периодов 48–192 ч. Они соответствуют периодам двух-, трех- и восьмидневных гармоник планетарных атмосферных волн. Их интенсивность ниже интенсивностей колебаний с  $T \sim 24$  и 12 ч. Все другие гармоники либо отсутствуют, либо сильно подавлены по сравнению с гармоникой  $T \sim 24$  ч.

При высокой магнитной активности:  $K_p \sim 7$  и  $\Sigma K_p \sim 50$  (два других фрагмента) подавляются колебания с  $T \sim 8$  и 12 ч, уменьшается интенсивность колебаний с  $T \sim 24$  ч, но заметно усиливаются колебания в полосе периодов 48–192 ч, особенно с  $T \sim 192$  ч. Интенсивность этой гармоники в несколько раз превышает интенсивность гармоники с  $T \sim 24$  ч. Подобная динамика спектров мощности  $H(t)$  наблюдалась и в другие дни усиленной геомагнитной активности: (07–19), (16–28) в сентябре и (10–15), (12–24) в октябре [Михайлова и др., 2009а].

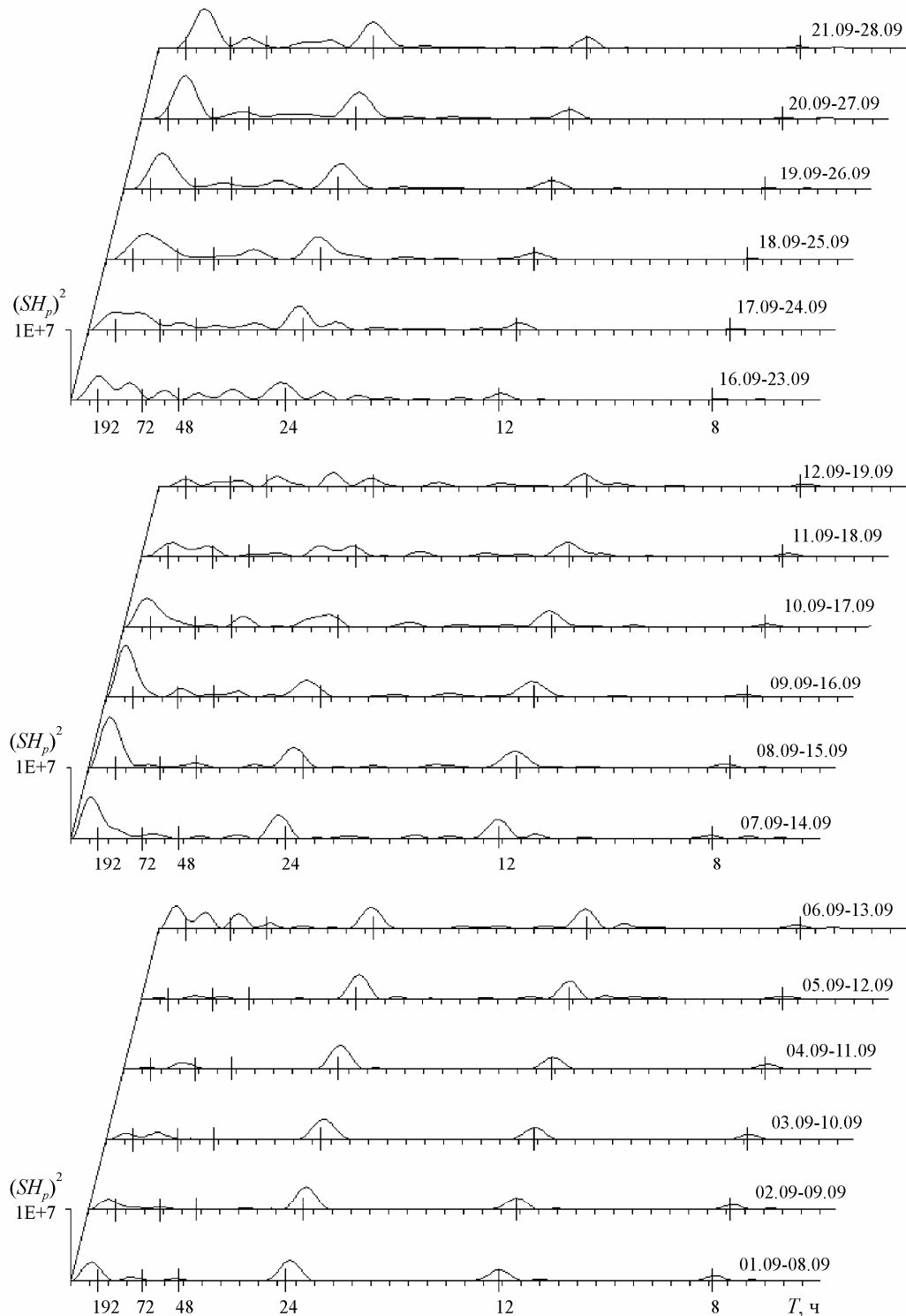
Более детальная картина вариаций интенсивности максимумов спектров и значений их периодов в течение сентября – октября см. на рис. 1. Здесь каждое значение на графиках по времени приведено к середине соответствующего интервала длительностью 8 сут. Для каждого максимума в спектре мощности приведены попарно кривые оценки спектральной плотности мощности  $S^2$  нТл<sup>2</sup>/Гц и их периодов в окрестности  $T \sim 12$ ;  $\sim 24$  и  $\sim 48$ –288 ч.

На рис. 1 видно наличие отклонения периодов суточного и полусуточного приливов от их регулярных значений. Например, для максимума с  $T \sim 24$  ч  $\Delta T \sim \pm 1$  ч. Изменение их происходит синхронно с изменением значений  $\Sigma K_p$ -индекса. Кроме того, обращают на себя внимание усиление интенсивности максимальных компонентов в спектре и ее модуляция колебаниями с периодом  $T \sim 15$ –20 сут, близко совпадающим с периодом волн планетарного масштаба с  $T \sim 18$  сут. Несколько отлично поведение интенсивности спектров в полосе периодов 48–192 ч. Во-первых, интенсивность максимумов ( $7 \cdot 10^6$ – $4 \cdot 10^7$ ) нТл<sup>2</sup>/Гц существенно превышает максимум с  $T \sim 24$  ч ( $\sim 4 \cdot 10^6$  нТл<sup>2</sup>/Гц). Во-вторых, интенсивность колебаний в этой полосе периодов изменяется с периодичностью в 10–12 сут, совпадающей с периодичностью изменений  $\Sigma K_p$ -индекса.



**Рис. 2.** Пример спектральной обработки исходных записей  $H_p$ -компоненты

1 – исходная запись вариаций геомагнитного поля за 8 сут; 2 – ряд после исключения среднего значения; 3 – отфильтрованный ряд данных в полосе периодов менее 20 ч; 4 – спектр мощности фрагмента 2 (тонкая линия с левой осью ординат) и спектр мощности фрагмента 3 (жирная линия с правой осью ординат); 5 – соответствующие им спектры в зависимости от периодов



**Рис. 3.** Выборочные фрагменты динамических спектров  $S^2(f)$  для спокойных геомагнитных условий (01.09–13.09) и при высокой геомагнитной активности (07.09–19.09 и 16.09–28.09). По оси абсцисс – линейный масштаб по частоте, на котором выделены периоды  $T = 8, 12, 24, 48, 72$  и  $192$  ч, гармоники с  $T = 4$  ч по интенсивности значительно слабее выделенных, поэтому на рисунке не приведены. По осям ординат вертикальный отрезок прямой в начале координат на каждом фрагменте одинаковый для всех кривых и равен  $1 \cdot 10^7 \text{ нТл}^2/\text{Гц}$

### Спектры мощности $E_z$ -компоненты квазистатического электрического поля

На рис. 4 в качестве иллюстрации приведены примеры типичных суточных вариаций напряженности поля в различных геофизических условиях: 16.09 – условия хорошей погоды; 17.09 – день накануне сильного землетрясения с аномалией в поведении напряженности поля; 18.09 – день с землетрясением; 19.09 – день с мощной грозовой активностью. Другие примеры вариаций напряженности электрического поля в сентябре 1999 г приведены в работе [Михайлов и др. 2002].

Динамика спектров мощности  $E_z$ -компоненты поля за сентябрь месяц приведена на рис. 5. Спектры построены в линейном по частоте масштабе. Метки на оси абсцисс называют частоты, совпадающие с периодами  $T = 8, 12, 24, 48, 72, 192$  ч.

Анализ рисунка показывает следующее. При спокойных геомагнитных условиях и относительно слабых осадках (кривые 01–08 и 02–09) в фоновых спектрах мощности выделены преимущественно полусуточная гармоника ( $T = 12$  ч) теплового прилива и относительно слабые гармоники с  $T \sim 24, 48, 72$  и  $192$  ч. С усилением геомагнитной активности во всех последующих восьмисуточных интервалах наблюдалось, во-первых, в полосе периодов 48–192 ч увеличение интенсивности спектров в несколько раз по сравнению с фоновым уровнем; во-вторых, смещение максимума компонента на  $T \sim 12$  ч в сторону больших значений с одновременным усилением его интенсивности; в-третьих, появление дополнительных максимумов на периодах  $T \sim 16$  и  $18$  ч.

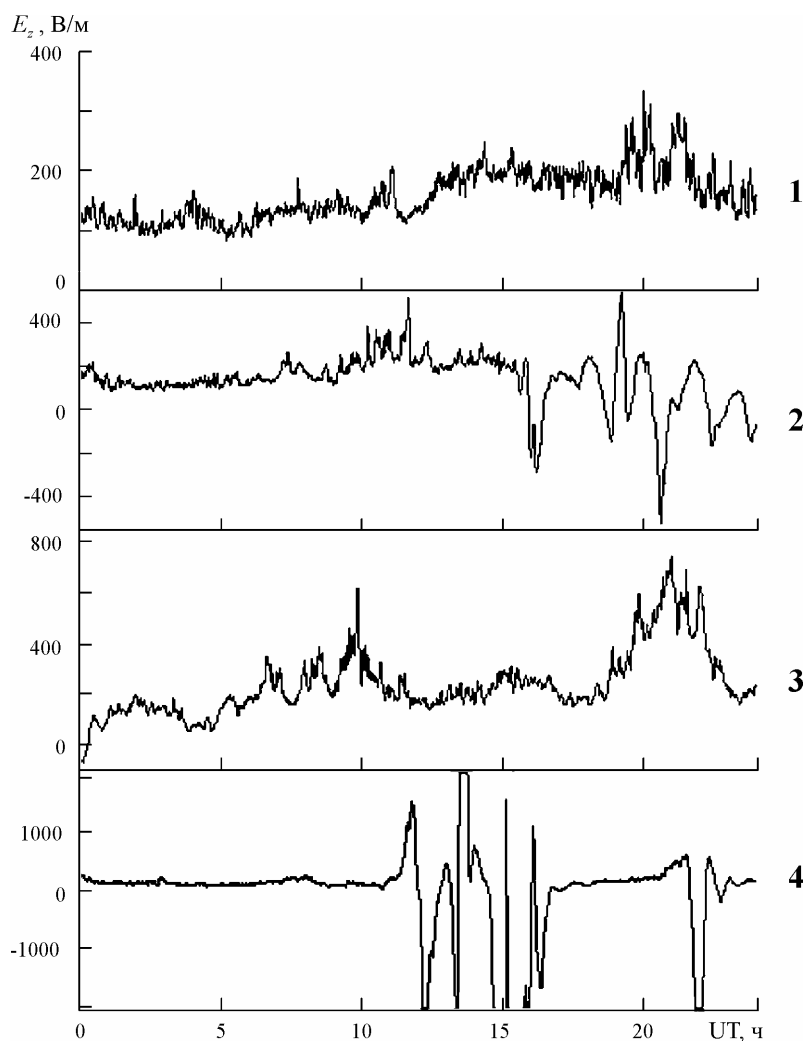
В интервалах 10–17 и 11–18 сентября характер спектров в полосе периодов 8–24 ч изменился незначительно, а в полосе 24–192 ч интенсивность заметно уменьшилась по сравнению с предыдущими и последующими графиками. В этих интервалах на фоне высокой геомагнитной активности произошло сильное землетрясение, которое привело к подавлению волновых возмущений в полосе периодов волн планетарного масштаба, т.е. сейсмический эффект локального источника оказался сильнее эффекта глобальной геомагнитной активности.

С дальнейшим ростом геомагнитной активности (интервалы 12–19, 13–20 и 14–21 сентября) наблюдалось усиление компонентов с  $T \sim 8, 12, 24$  ч. В интервалы времени, включающие изолированную магнитную бурю 22 сентября (15–22, 16–23, 17–24 и 18–25 сентября), в спектрах мощности возросла интенсивность компонентов с  $T \sim 8, 12$  и  $24$  ч, но особенно сильно с  $T \sim 48$  ч.

Следующая последовательность спектров (19–26, 20–27, 21–28 и 22–29 сентября) включает в себя, кроме высокой геомагнитной активности, мощный всплеск осадков. Их эффект проявился в подавлении колебаний с периодами  $T \sim 8, 12, 24$  ч и в усилении колебаний с периодами  $T \geq 48$  ч. При этом их интенсивность по величине почти на порядок превышает соответствующую интенсивность при других геофизических условиях.

Более детально картина вариаций интенсивностей максимумов в спектрах мощности  $(SE_z)^2$  и значений их периодов  $T$  показаны на рис. 6. Подобно рис. 1, для каждого максимума в спектре попарно приведены кривые оценки спектральной плотности мощности и их периодов в окрестности  $T \sim 12, 24$  ч и выше. Каждое значение на графике приведено к середине интервала в 8 сут, на котором оценивалась спектральная плотность мощности.

Из анализа рис. 6 следует, что эффект высокой геомагнитной активности в поведении спектров проявляется прежде всего в существенном увеличении периода с 12 до 14 ч и одновременно в незначительном уменьшении периода  $T \sim 24$  ч при слабом увеличении их интенсивностей. Кроме того, в день с сильным землетрясением 18 сентября

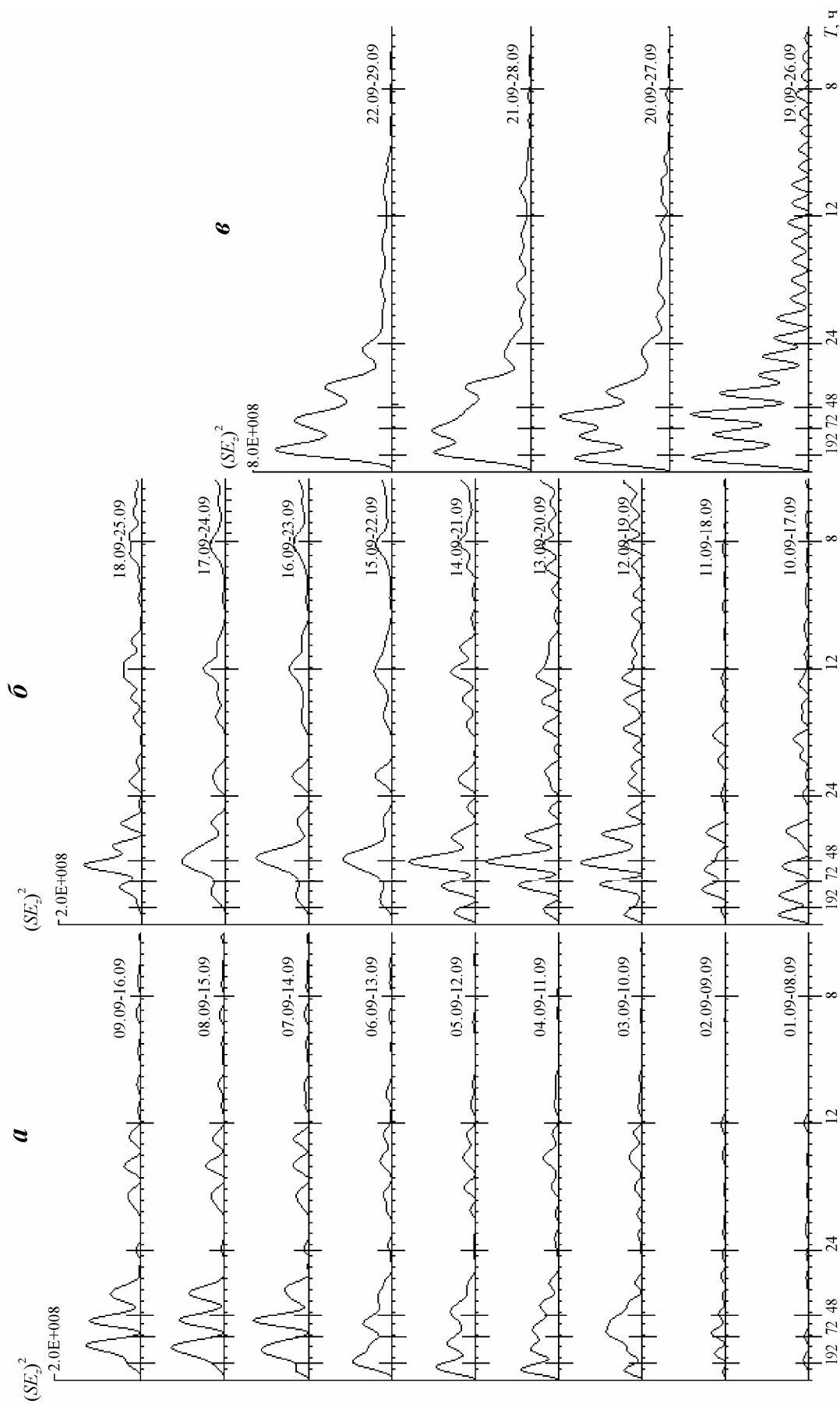


**Рис. 4.** Примеры типичных суточных вариаций  $E_z$ -компоненты поля в различных геофизических условиях: 16.09 – условия хорошей погоды (1); 17.09 – сутки накануне сильного землетрясения с аномалией напряженности поля (2); 18.09 – сутки с землетрясением (3); 19.09 – сутки с мощной грозовой активностью (4)

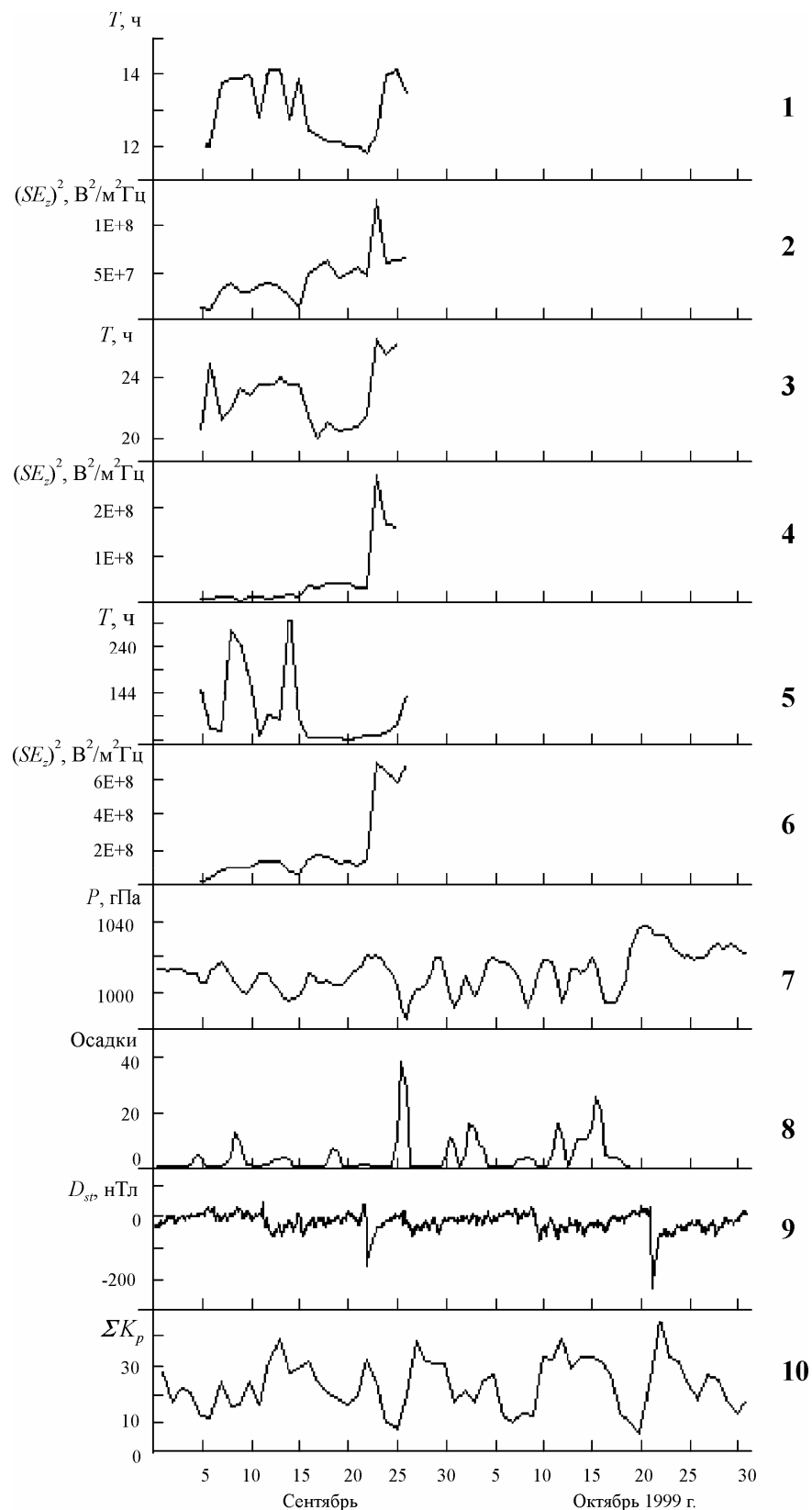
эффект проявляется в резком уменьшении периода максимума спектра до 12 ч при незначительном увеличении его интенсивности. В день со слабым землетрясением 6 сентября эффект практически отсутствует. Эффект магнитной бури 22 сентября проявляется в резком усилении интенсивности (в два-три раза по сравнению с фоновым уровнем) обоих компонентов и в увеличении скачком длительности периодов этих компонентов до 14 и 26 ч соответственно. Несовпадение периодов  $T \sim 14$  и 26 ч с параметрами тепловых приливных колебаний и их некрatность между собой, а также совпадение продолжительности существования аномалий максимумов в спектрах мощности с продолжительностью высокой геомагнитной активности позволяют полагать, что этот эффект может быть связан с воздействием на нижнюю атмосферу корпускулярных потоков от Солнца, а не теплового излучения от него.

Совместный анализ рис. 1 и 6 позволяет сделать следующие выводы:

1. В спокойных геомагнитных условиях в спектрах мощности квазистатического электрического поля и горизонтальной компоненты геомагнитного поля присутствуют



**Рис. 5.** Динамика спектральной плотности мощности суточных вариаций квазистационарного электрического поля  $(SE_z)^2$  через одни сутки в сентябре 1999 г. Масштабы по оси ординат для фрагментов (а) и (б) одинаковые и равны  $2 \cdot 10^8 \text{ В}^2/\text{м}^2\text{Гц}$ , для фрагмента (в) –  $8 \cdot 10^8 \text{ В}^2/\text{м}^2\text{Гц}$



**Рис. 6.** Вариации интенсивности максимумов в спектре мощности  $(SE_z)^2$  и длительности периодов  $T$  этих максимумов вблизи периодов  $T \sim 12$  (кривые 2 и 1), 24 (кривые 4 и 3) ч и более (кривые 6 и 5). Приведены кривые среднесуточных значений атмосферного давления  $P$ , гПа (кривая 7), количества атмосферных осадков в  $\text{mm}/\text{m}^2$  (кривая 8), минутные значения  $D_{st}$ -вариаций в нТл (кривая 9) и суточные значения  $\Sigma K_p$ -индекса (кривая 10)

компоненты, периоды которых совпадают с периодами атмосферных волн – тепловых, приливных и планетарного масштаба, обусловленных волновым излучением Солнца.

2. При высокой геомагнитной активности под действием корпускулярных потоков от Солнца характер спектров этих параметров изменяется по-разному, а именно:

а) в спектрах мощности квазистатического электрического поля эффект проявляется в увеличении длительности периода колебаний с 12 до 14 ч синхронно с вариациями величины  $\Sigma K_p$ -индекса и в усилении интенсивности этих колебаний;

б) синхронно с вариациями  $\Sigma K_p$ -индекса усиливаются колебания в полосе периодов планетарных волн  $T \sim 48\text{--}288$  ч;

в) во время сильной магнитной бури эффект проявляется в резком увеличении длительности периодов с 12 до 14 и с 20 до 26 ч с одновременным усилением интенсивности этих колебаний;

г) в спектрах мощности горизонтальной компоненты геомагнитного поля эффект проявляется в изменении периодов колебаний в полосе 12–288 ч синхронно с изменением значения  $\Sigma K_p$ -индекса. Интенсивность колебаний с периодами 12 и 24 ч модулирована колебаниями с периодом порядка 15–20 сут, в то время как интенсивность колебаний с периодами выше 24 ч модулирована волной с периодом 10–12 сут, совпадающим с третьей резонансной гармоникой собственного вращения Солнца.

### **Возможный биофизический механизм связи сердечно-сосудистой системы человека с метеопараметрами при высокой геомагнитной активности**

В соответствии с предлагаемой моделью резонансного взаимодействия в паре «человек – среда обитания» на частотах ниже 1 Гц полученные в работе спектральные особенности вариаций напряженности квазистатического электрического и геомагнитного полей следует рассматривать как изменения условий в среде обитания человека. В спокойных геомагнитных условиях в их спектрах мощности выделяются колебания, определяемые собственными колебаниями атмосферы ( $T = 24, 12, 8$  ч). Это тепловые приливные волны, обусловленные поступлением в тропосферу прямой солнечной радиации, которые отчетливо видны, например, на рис. 3 и 5 и всегда присутствуют в анализируемых спектрах мощности. Они определяют устойчивые суточный и полусуточный ритмы среды обитания человека и проявляются также в спектрах колебаний сердечных сокращений и артериального давления [Гамбурцев и др., 2008].

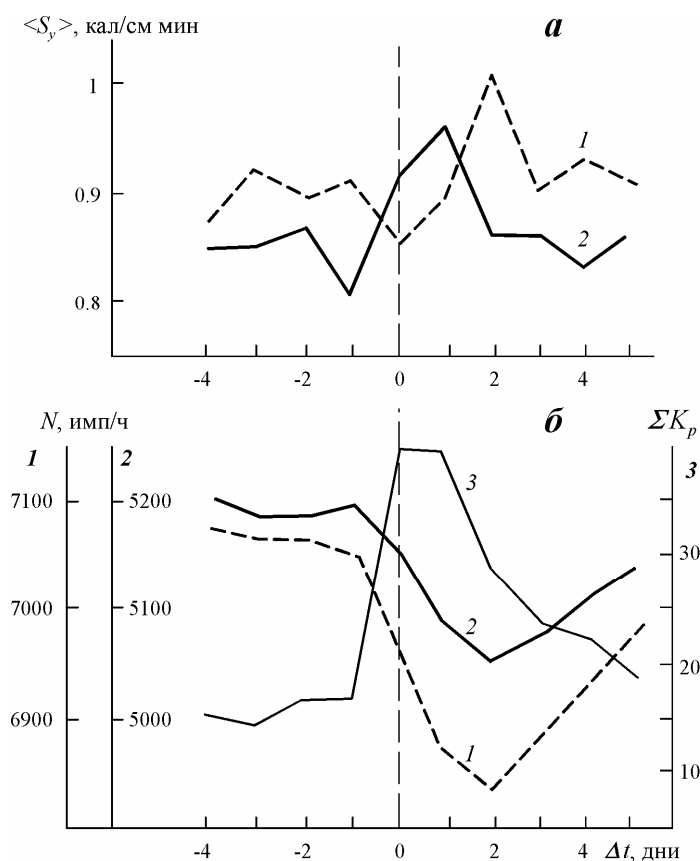
Во время геомагнитных возмущений обнаружено изменение периодов колебаний атмосферных волн с периодами  $T \sim 12$  и 24 ч с одновременным усилением их интенсивностей, а также усиление интенсивности колебаний планетарных волн в полосе периодов  $T \sim 48\text{--}288$  ч, синхронно с вариациями  $\Sigma K_p$ -индекса. Подобные эффекты проявляются и в деятельности сердечно-сосудистой системы человека. Так, в спектрах числа вызовов скорой помощи к больным с сердечно-сосудистыми заболеваниями и вариациях  $K_p$ -индекса выделены интенсивные колебания с периодами  $T \sim 13.5, 6.9, 4.5\text{--}5.5$  сут [Вершинина и др., 2000; Самсонов и др., 2004; Черноус, 2004]. Нарушение частоты сердечных сокращений под влиянием геомагнитной активности обнаружено в ряде работ [Гурфинкель, Парфенова, 2004; Черноус, 2004; Гамбурцев и др., 2008].

При рассмотрении этой модели взаимодействия «человек – среда обитания» естественно возникает вопрос, каким образом под влиянием изменений геомагнитной активности, в частности напряженности  $E_z$ -компоненты электрического поля и горизонтальной компоненты геомагнитного поля, изменяется среда обитания, в частности атмо-



сферное давление и температура воздуха. Ранее в работах Э.Р. Мустеля и его коллег [Мустель, 1973, 1974; Мустель и др., 1977, 1979], изучавших солнечно-атмосферные связи, было показано, что магнитные бури приводят к изменению термобарической структуры тропосферы, и высказано предположение, что этот эффект должен быть связан с поступлением в тропосферу дополнительных потоков прямой солнечной радиации.

Позже серия экспериментальных работ, выполненных группой М.И. Пудовкина [Пудовкин, Распопов, 1992], позволила установить, что эти дополнительные потоки вызваны увеличением прозрачности атмосферы во время Форбуш-понижений интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ), сопровождающих геомагнитные возмущения. На рис. 7 показано возрастание прямой солнечной радиации после начала интенсивного геомагнитного возмущения вместе с изменением  $K_p$ -индекса. Наибольшие возрастания потока имеют место на авроральных и субавроральных широтах и более слабые на средних широтах. Это приводит к поступлению в атмосферу дополнительной солнечной радиации (по оценкам авторов ~ 40 %).



**Рис. 7.** Характер изменений прямой солнечной радиации после начала интенсивного геомагнитного возмущения

*а* – средние значения потоков прямой солнечной радиации относительно нулевых моментов  $t_0$  начала интенсивных геомагнитных возмущений для станций, расположенных в авроральной (1) и субавроральной зонах (2); *б* – средний временной ход  $K_p$ -индекса (3) и скорости счета нейтронных мониторов в обс. Апатиты (1) и Красная Пахра (2) [Пудовкин, Распопов, 1992]

Изменение прозрачности атмосферы и связанные с этим изменения атмосферного давления и температуры воздуха вызывают усиление интенсивности планетарных волн. Этот эффект отчетливо проявляется в спектрах мощности напряженности электрического и геомагнитного полей на периодах 48–288 ч (см. рис. 1 и 6). Кроме того, согласно модели [Пудовкин, Распопов, 1992], интенсивность поступающей прямой солнечной радиации модулируется колебаниями со средним периодом (или его гармониками) собственного вращения Солнца – источника корпускулярных потоков во время геомагнитных возмущений.

Этот эффект также обнаружен нами в изменении интенсивности приливных колебаний с периодами  $T \sim 13$ –14 сут как в спектрах  $E_z$ -компоненты электрического поля, так и  $H_p$ -компоненты геомагнитного поля (см. рис. 1 и 6). Всплески спектров на периодах  $T \sim 27$  сут были выделены также в вариациях объемной активности радона, атмосферного давления и частоты обращения за медицинской помощью больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями [Вершинина и др., 2000; Самсонов и др., 2004; Черноус, 2004].

В рамках модели резонансного взаимодействия «человек – среда обитания», предложенной в настоящей работе, изменение параметров среды обитания в процессе развития геомагнитных возмущений приводит к нарушению этой связи и, следовательно, к нарушению физиологических функций людей, чувствительных к вариациям метеорологических параметров.

### Выводы

1. В процессе развития геомагнитных возмущений в спектрах мощности квазистатического электрического и горизонтальной компоненты геомагнитного полей в полосе периодов тепловых приливных атмосферных волн и волн планетарного масштаба впервые обнаружено изменение периодов колебаний и усиление их интенсивностей синхронно с максимумами геомагнитной активности.

2. Предложен возможный биофизический механизм связи состояния сердечно-сосудистой системы человека с геомагнитной активностью через резонансное взаимодействие со средой обитания. В период высокой геомагнитной активности изменяются свойства атмосферы, в частности атмосферное давление и температура воздуха. Это обусловлено увеличением прозрачности атмосферы вследствие Форбуш-понижения интенсивности потоков галактических космических лучей.

3. Предложенный биофизический механизм качественно согласуется с характером короткопериодных и длиннопериодных вариаций атмосферного давления, а также с результатами прямых и косвенных исследований связи состояния сердечно-сосудистой системы человека с геомагнитной активностью.

4. Приведенные в работе результаты следует рассматривать как предварительные, для их подтверждения необходимо проведение дополнительных исследований.

### Литература

Борисенков Е.П., Кобзарева Е.Н., Крушатина И.А. Никифорова Л.Н., Успенская В.Г., Шварц Я.М. Сезонные особенности связи между атмосферно-электрическими факторами и метеотропными реакциями у кардиологических больных // Изв. РГО. 2000. Т. 132, вып. 3. С. 76–85.

- Борисенков Е.П., Кобзарева Е.Н., Крушатина И.А., Никифорова Л.Н., Успенская В.Г., Шварц Я.М.* Значительные изменения градиента потенциала электрического поля атмосферы у Земли и метеотропные реакции у кардиологических больных // Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству, Владимир, ВлГУ, 21–26.09.2003 г.: Сб. трудов. В двух томах / Отв. ред. Л.В. Грунская. Т. 1. С. 136–138.
- Бычков В.С.* Колебания атмосферного давления и геомагнитные вариации, обусловленные динамикой атмосферных фронтов // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Т. 18, № 7. С. 691–696.
- Вершинина Н.И., Петроченко Н.А., Шумилов Ю.С.* Влияние возмущенности геомагнитного поля на обострение гипертонической болезни // Геофизические процессы в околоземном пространстве / Ред. Г.И. Дружин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 86–90.
- Виллорези Дж., Бреус Т.К., Дорман Л.И., Ючи Н., Рапопорт С.И.* Влияние межпланетных и геомагнитных возмущений на возрастание числа клинически тяжелых медицинских патологий (инфарктов миокарда и инсультов) // Биофизика. 1995. Т. 40, вып. 5. С. 983–990.
- Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.В., Макеев В.Б., Самохвалов В.П.* Космос и биологические ритмы. Симферополь: Изд-во Симферопольского ун-та, 1995. 206 с.
- Гамбурцев А.Г., Чибисов С.М., Стрелков Д.Г.* Вариации артериального давления и частоты сердечных сокращений по данным многосуточного мониторинга и их вероятная связь с внешними воздействиями // Геофиз. процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 2. С. 53–66.
- Гурфинкель Ю.И., Парфенова Л.М.* Влияние геомагнитных возмущений на ритм сердца и его эктопическую активность // Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности», 6–9.04.2004 г. Пущино-на-Оке: Тез. докл. С. 20.
- Давыдова Е.И., Давыдов В.В.* Солнечные периоды и метеопараметры земной атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 1995. Т. 35, № 6. С. 163–165.
- Козырева Л.И., Сидорина Н.А.* Влияние динамических процессов в атмосфере на здоровье человека // Геофиз. процессы и биосфера. 2008. Т. 7, № 3. С. 37–54.
- Митра А.* Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли / Пер. с англ.: А.Р. Mitra. *Ionospheric Effects of Solar Flares.* Boston – Dordrecht, Holland: D. Reidel Publish., 1974. М.: Мир, 1977. 370 с.
- Михайлова Г.А.* Возможный биофизический механизм влияния солнечной активности на центральную нервную систему человека // Биофизика. 2001. Т. 46, вып. 5. С. 922–926.
- Михайлова Г.А.* К вопросу о возможном биофизическом механизме влияния солнечной активности на центральную нервную систему человека // Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности», 6–9.04.2004 г. Пущино-на-Оке: Тез. докл. С. 44.
- Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Смирнов С.Э.* Эффекты геомагнитных возмущений в спектрах мощности атмосферных волн в динамо-области ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2009а. Т. 49, № 2. С. 262–266.
- Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э.* Спектры мощности тепловых приливных и планетарных волн в приземной атмосфере и в D-области ионосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. 2009б. Т. 49, № 5. С. 639–653.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Депенева А.Х., Бузевич А.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э., Фирстов П.П.* Вариации различных атмосферных и ионосферных параметров в периоды подготовки землетрясений на Камчатке: предварительные результаты // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42, № 6. С. 805–813.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Бузевич А.В., Смирнов С.Э.* Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. 2003. Т. 43, № 3. С. 750–758.
- Мустель Э.Р.* О взаимодействии солнечных корпускулярных потоков с нижним слоем земной атмосферы // Тр. Симпозиума по солнечно-корпускулярным эффектам в тропосфере и стратосфере / Ред. Э.Р. Мустель и Л.Р. Ракипова. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 4–13.

- Мустель Э.Р. Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 79 с.
- Мустель Э.Р., Чертопруд В.Е., Хведелиане В.А. Сравнение изменений поля приземного атмосферного давления в периоды высокой и низкой геомагнитной активности // Астрон. журн. 1977. Т. 54, вып. 2. С. 682–697.
- Мустель Э.Р., Чертопруд В.Е., Мулюкова Н.Б. Связь между корпускулярной активностью Солнца и ростом неустойчивости нижней атмосферы Земли в разные сезоны // Астрон. журн. 1979. Т. 56, вып. 4. С. 876–880.
- Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32, № 5. С. 1–22.
- Самсонов С.Н., Соколов В.Д., Стрекаловская А.А., Петрова Г.Г. Гелиогеофизическая возмущенность и обострение сердечно-сосудистых заболеваний // Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности», 6–9.04.2004 г. Пушино-на-Оке: Тез. докл. С. 48.
- Смирнов Р.В., Кононович Э.В., Матвейчук Т.В. Солнечная и геомагнитная активность: частотная структура связи // Тр. междунар. конф. ГАО РАН, Пулково, 7–11 июля 2003 г. «Климатические и экологические аспекты солнечной активности». СПб.: ГАО РАН, 2003. С. 405–410.
- Фирстов П.П. Мониторинг объемной активности подпочвенного радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) на Паратунской геотермальной системе в 1997–1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 33–43.
- Халберг Ф., Корнелиссен Г., Бити Л.А., Отсука К., Ватанабе Е., Сотерн Р.Б., Катинас Г.С., Чаплицки Е., Санчез де ла Пена С., Улмер В., Ревилла М., Зеэман М., Шварцкопфф О., Сингх Р.Б., Исследовательская группа «Феникс», Рабочая группа проекта БИОКОС. Успехи хрономики в 2006–2008 гг.: Часть 1. Согласованность ритмов биосферных и гелиогеофизических процессов // Геофиз. процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 2. С. 43–74.
- Черноус С.А. Особенности вариабельности сердечного ритма в период геомагнитных возмущений в полярной области // Междисциплинарный семинар «Биологические эффекты солнечной активности», 6–9.04.2004 г. Пушино-на-Оке: Тез. докл. С. 17–18.
- Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М.: Мысль, 1995. 766 с.
- Шемми-заде А.Э. Трансформация импульса солнечно-геомагнитной активности в возмущения радонового и аэроионного полей планеты // Биофизика. 1992. Т. 37, вып. 4. С. 690–699.
- Cherry N.J. Schumann resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of solar/geomagnetic activity // Nat. Hazards. 2002. V. 26, N 3. P. 279–331.
- Clements W.E., Wilkening M.H. Atmospheric pressure effects on  $^{222}\text{Rn}$  transport the Earth-air interface // J. Geophys. Res. 1974. V. 79, N 33. P. 5025–5029.
- Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.E. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction // J. Atmos and Sol.-Terr. Phys. 2002. V. 64. P. 707–720.
- Kleimenova N.G., Troitskaya V.A. Geomagnetic pulsations as one of the ecological factors of the environment // Biophysics. 1992. V. 37, N 3. P. 342–351.
- Konig H.L. Biogeological effects of extremely low frequency electrical phenomena in the atmosphere // J. Interdiscip. Cycle Res. 1971. V. 2, N 3. P. 317–323.
- Mikhailova G.A., Mikhailov Yu.M. Possible biophysical mechanism of the effect of the Solar activity on the human central nervous system // 35<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly 2004. Paris, France. 18–25 July, 2004. F 2.2-0002-04.
- Palmer S.J., Rycroft M.J., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface // Surv. Geophys. 2006. V. 27. P. 557–595. DOI 10.1007/s10712 – 006 –9010 –7.

*Schumann W.O.* Über de strahlundlosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist // *Z. Naturforsch.* 1952. B. 7a, № 2. S. 149–154.

*Wait J.R.* Cavity resonances for a spherical Earth with a concentric anisotropic shell // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1965. V. 27, N 1. P. 81–89.

*Zoran M.* Radon in soil variations for the Vrancea seismic area // *Rev. Roum. GEOPHYSIQUE.* 2002. V. 46. P. 107–114.

*Сведения об авторах*

**МИХАЙЛОВА Галина Анатольевна** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Тел.: 8(496)751-51-02. E-mail: yumikh@izmiran.ru

**СМИРНОВ Сергей Эдуардович** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, +7(902)464-71-87. E-mail: sergey@ikir.ru

## **EFFECTS OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES IN THE NEAR GROUND ATMOSPHERE AND POSSIBLE BIOPHYSICAL MECHANISM OF THEIR INFLUENCE ON THE HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM**

**G.A. Mikhailova<sup>1</sup>, S.E. Smirnov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation, Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow Region, Russia

<sup>2</sup>Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch, v. Paratunka, Elizovskiy region, Kamchatka region, Russia

**Abstract.** Effects of the geomagnetic activity are studied on the power spectra variations of quasi-static electric and geomagnetic fields of the near ground atmosphere in the period band of the tidal and planetary waves. The variations of the intensities and period durations in the spectral power density of these parameters occurred synchronously with  $K_p$  index are revealed. Taking into account that these parameters are linked to the atmospheric pressure, a possible biophysical mechanism of coupling of the human cardiovascular system with the geomagnetic activity is supposed. The mechanism suggests the resonance interaction of the human cardiovascular system with the environment. At periods of high geomagnetic, the increase of the atmospheric transparency, occurred as a result of the Forbush decrease of the flux cosmic rays in the evolution of the geomagnetic disturbances, caused atmospheric pressure and temperature to be changed. But these are the parameters which directly affect on the human being.

*Key words:* quasi-static electric field, geomagnetic variations, human cardiovascular system, geomagnetic activity, mechanism of influence.