

УДК 57.045

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ АКТИВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

© 2013 г. А.В. Шитов¹, А.С. Бородин², Д.А. Тужилкин², М.Л. Апрыткина²

¹ Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск, Россия

² Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты исследования деятельности сердечно-сосудистой системы человека в пределах зон геологических разломов Горного Алтая. Показано, что особенности геолого-геофизических характеристик оказывают влияние на различные контуры управления сердечно-сосудистой системы человека, вызывая перестройку ее функционирования.

Ключевые слова: активные геологические разломы, сердечно-сосудистая система человека, вариабельность ритма сердца.

Введение

Как показывают исследования последних лет, здоровье людей в сейсмически активных регионах имеет некоторые особенности, которые могут быть следствием геологических факторов, в том числе и процессов, связанных с возникновением землетрясений. Имеются факты, свидетельствующие о том, что геологическая среда в целом и ее основные компоненты определяют экологические условия территории и могут рассматриваться как факторы, ограничивающие хозяйственную деятельность человека и регламентирующие интенсивность взаимодействия человека с природой [Экологические..., 2000]. Представляет интерес изучение вариаций медицинских показателей при сильных землетрясениях и в их афтершоковый период [Умидова и др., 1971; Takakura et al., 1997; Ананьин, 2000; Lai et al., 2000; Matsuoka et al., 2000; Parati et al., 2001; Kario et al., 2003; Şalcioğlu et al., 2003; Sokejima et al., 2004; Chen et al., 2007].

Путем совместных биофизических и геолого-геофизических исследований установлено, что на изменения в биологических системах могут оказывать влияние аномальные характеристики геофизических полей, геохимические аномалии, активные тектонические структуры (разломы), связанные с зонами повышенной проницаемости и напряжений земной коры, а также другие факторы [Тужилкин, Бородин, 2012; Шитов и др., 2012]. В пределах таких зон живые организмы испытывают стрессовое воздейст-

вие, что приводит к возникновению различных функциональных расстройств, снижающих сопротивляемость организма к заболеваниям [Мельников и др., 1994; Флоринский, 2001; Березин и др., 2003; Трифонов, Караханян, 2004; Боярских, Шитов, 2011].

Происходящая в настоящее время активизация сейсмических процессов на территории Горного Алтая оказывает существенное влияние на здоровье местного населения, особенно проживающих в районе эпицентра Чуйского землетрясения. За несколько дней до землетрясения и во время сильных толчков здесь наблюдались отклонения от нормального психофизиологического состояния по сравнению с наблюдаемыми характеристиками до землетрясения. Высокий процент опрошенных отмечали изменение физического состояния, которое у многих ухудшилось еще в период, предшествующий землетрясению [Шитов, 2011].

Изучение особенностей геолого-геофизического строения территории выявило существование различного набора геологических характеристик и геофизических полей, оказывающих влияние на здоровье населения уже за несколько лет перед землетрясением. Общая заболеваемость перед землетрясением среди взрослых и детей в целом достоверно выросла. При этом рост заболеваемости среди детей значительно более выражен, чем среди взрослых, что говорит о большей их восприимчивости к изменяющимся условиям внешней среды.

Нами было показано, что различные виды заболеваемости по данным вызовов бригад скорой медицинской помощи имеют пики в различные дни сейсмического процесса (форшок, землетрясение, афтершок) [Антикаева, Шитов, 2011]. При этом отмечается разная специфика заболеваемости по скорости и продолжительности реагирования различных систем (сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной и др.) человека на сейсмическое событие.

Характеристика районов исследования

Ранее неоднократно были зафиксированы аномальные вариации геофизических полей в окрестностях тектонических структур, а также показано влияние напряженно-деформированного состояния среды на режим и вариации химического состава подземных вод, электролитические характеристики тектонических нарушений, эманиции газов и др.

С целью исследования влияния локальных геолого-геофизических характеристик на функционирование сердечно-сосудистой системы человека нами проводился анализ изменений ее функционирования в пределах территорий с аномальными геолого-геофизическими факторами. Исследования проводились в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (2003 г.) на тектоническом разломе, расположенном в долине р. Талтура, на Курайском активном разломе (на участке вблизи с. Чаган-Узун) (рис. 1), а также в пределах г. Горно-Алтайска.

Первый участок (Белтур), расположенный в долине р. Талтура, был выявлен по результатам геомагнитной съемки. Участок характеризуется пониженной аномалией полного вектора магнитного поля T и связан с тектоническим разломом, трассирующим от эпицентра Чуйского землетрясения к оползню Арха-Узюк [Достовалова, 2004]. К этому разлому приурочены наиболее разрушительные сейсмодислокации поверхности. Согласно данным картирования спутниковыми приемниками средней точности, сейсмодислокации находятся в пределах линейной зоны на участке ее сопряжения с Чарышско-Теректинским разломом. Фрагменты этой зоны визуально фиксируются разнообразными катастрофическими деформациями поверхности, трассируя тектоническую

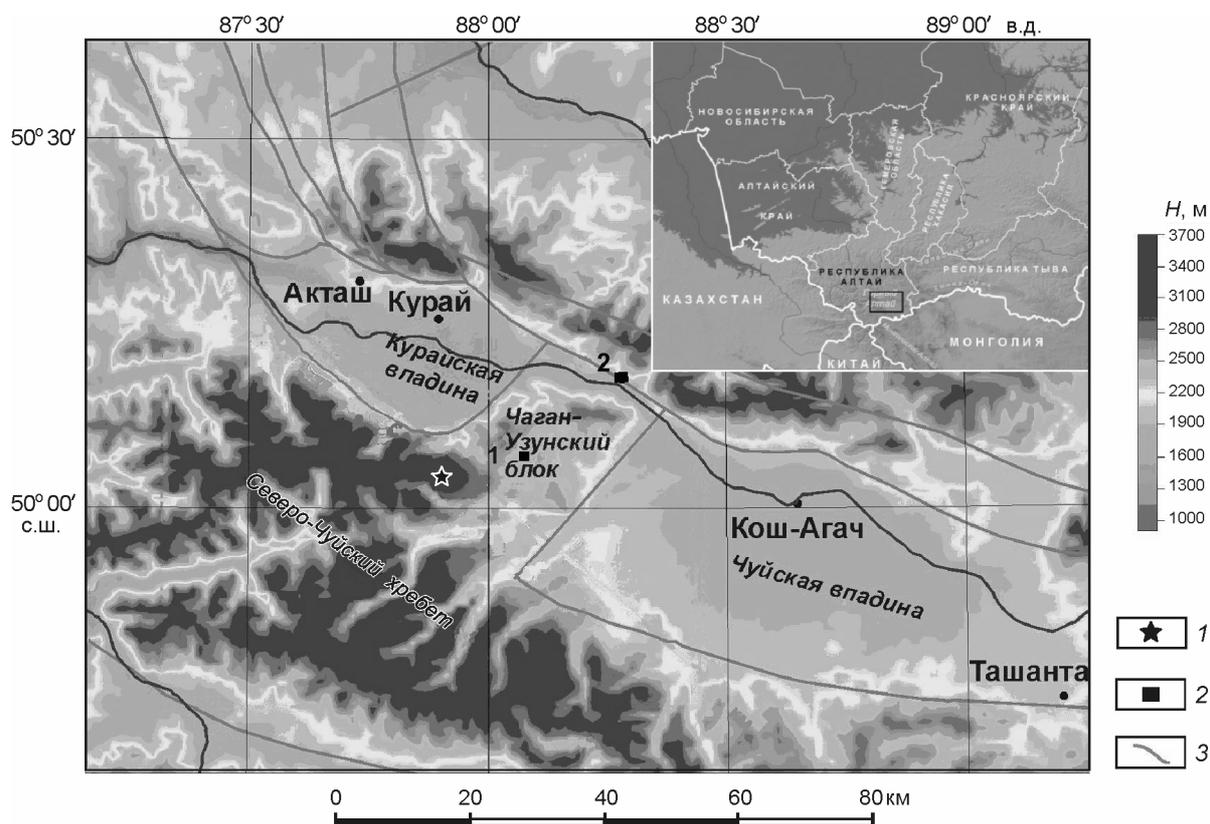


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта района исследований

1 – эпицентр Чуйского землетрясения; 2 – участки исследования (1 – Белтир, 2 – Чаган-Узун); 3 – тектонические разломы (по данным Геологического института РАН). На врезке – местоположение района работ

зону с азимутом простирания $120\text{--}300^\circ$. Тектонический разлом (аз. $120\text{--}300^\circ$), трассирующийся сейсмодислокациями на поверхности, является оперяющей структурой Чарышско-Теректинского разлома и достаточно уверенно выделяется по геофизическим данным [Тимофеев и др., 2006]. Здесь активно проявлены деформационные и фильтрационные аномальные характеристики, которые определяются напряженно-деформационным состоянием горных пород, геометрическими параметрами нарушения, свойствами его заполнителя и другими особенностями [Сливак, 2008].

Для изучения распределения тяжелых металлов в растительности, произрастающей в пределах участка, и выявления активных флюидных процессов, характеризующих разломные зоны, отбирали пробы укосов растительности в зоне разлома и в 100 м по обе стороны от разломной зоны. Химический анализ образцов проведен в экологической лаборатории Горно-Алтайского государственного университета с помощью вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» методом инверсионной амперометрии [Шитов и др., 2009]. Установлено, что данный участок выделяется по содержанию тяжелых металлов в растительности. Так, среднее содержание по цинку, свинцу, кадмию и меди составляет соответственно 28, 250, 16 и 229 мг/кг, при этом известно, что содержание этих элементов в растительности Горного Алтая близко к кларковому [Рождественская и др., 2008].

Второй участок – Курайский разлом – расположен на правом берегу р. Чуя напротив с. Чаган-Узун. Здесь проходит Курайский глубинный разлом; кроме того, участок доступен для пешеходных экскурсий. Это одно из крупнейших разрывных нарушений Горного

Алтая, сформированное в результате коллизионных процессов глобального характера – взаимодействия Индийской и Сибирской плит [Туркин, Федак, 2006]. В региональном магнитном поле разлом выражен резкой градиентной зоной (сотни нанотесла). В поле силы тяжести данный участок отмечается гравитационной ступенью.

Третий участок – г. Горно-Алтайск. На основе изучения вызовов бригад скорой медицинской помощи в г. Горно-Алтайске в 2002–2003 гг. выявлено неоднородное их распределение по территории города. При этом выделялись участки, приуроченные к активному разлому, проходящему по территории города.

Город Горно-Алтайск находится в весьма сложных геолого-тектонических условиях. Это зона герцинских глубинных разломов с амплитудой перемещений до 500 м (рис. 2). Практически по центру города проходит шовная зона крупного сквозного надвига субмеридионального направления, которая хорошо интерпретируется по геофизическим данным и откартирована по многочисленным тектоническим разрывам при геологической съемке. По этой зоне и выбраны точки исследования влияния геолого-геофизических характеристик на сердечно-сосудистую систему человека. Исследования проводились при помощи холтеровских мониторов, а также измерения характеристик пульса и давления на участках разломов.

В геологическом плане на территории города развиты карбонатно-терригенные породы венд-кембрийского возраста, которые на определенных глубинах, видимо, прорываются интрузиями гранитоидов.

После малоамплитудного сейсмического события в северной части Республики Алтай в феврале 2004 г. в некоторых индивидуальных колонках г. Горно-Алтайска и ряда прилегающих населенных пунктов изменились химический состав и температура подземных вод [Шитов и др., 2006].

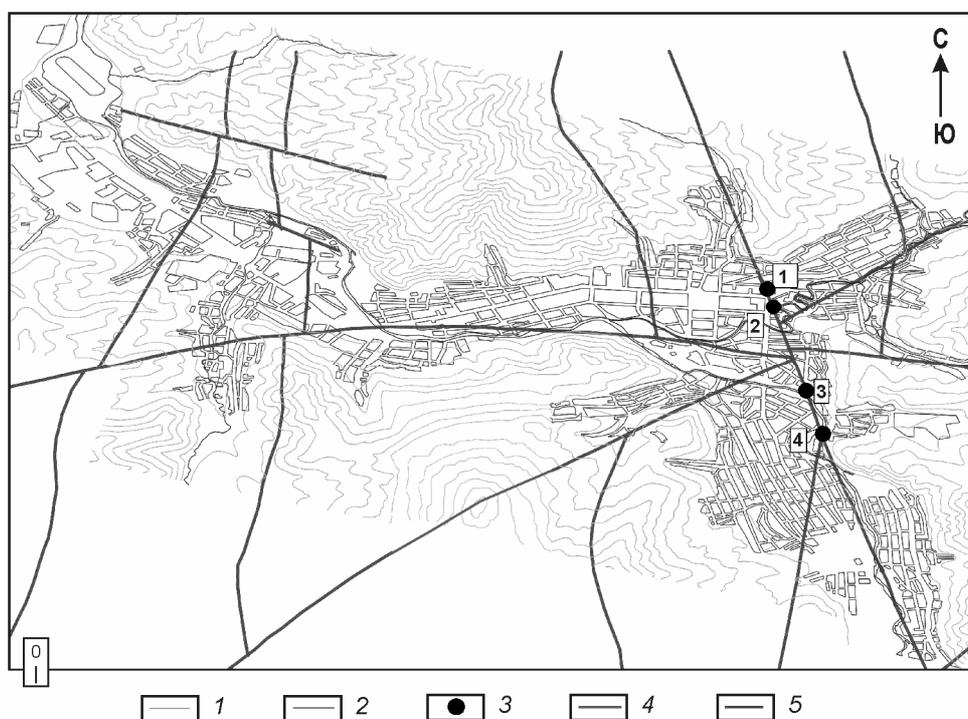


Рис. 2. Структурно-тектоническая карта г. Горно-Алтайска с указанием точек измерений (0–4)
1 – изолинии рельефа; 2 – реки; 3 – точки наблюдения; 4 – квартальная сеть; 5 – разломы

На территории г. Горно-Алтайска отмечаются зоны повышенной активности радона, при этом на его содержание влияет не один фактор. Так, превышение норм наблюдается либо вблизи разломов, либо в районах, где прорываются интрузии гранитоидов. В центральной части города, где фундамент перекрыт рыхлыми четвертичными отложениями, уровни активности радона относительно невысокие. После сейсмической активности в 2003 г. эксгаляция радона увеличилась примерно в 2 раза [Гвоздарев, 2006].

Таким образом, данные о структуре активных разломов в пределах изучаемых участков свидетельствуют о сложности, многокомпонентности, многофазности протекающих в них процессов и о возможном их влиянии на здоровье человека, в частности на его сердечно-сосудистую деятельность.

Методика работ

В настоящее время для оценки экологической обстановки территорий широко используется биоиндикация, или комплексное исследование состояния различных организмов, реагирующих на изменение внешней среды. Системы организма человека также чувствительны к изменениям характеристик среды, при этом расширяются границы поиска в использовании новых обобщающих показателей их адаптации. На наш взгляд, внимания заслуживает исследование прогностической значимости адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы человека. В качестве предикторов риска неблагоприятного влияния факторов окружающей среды чаще всего используются показатели функционирования сердечно-сосудистой системы, потому что именно она отражает количественную сторону возможностей организма, интегрируя напряженность деятельности других его функциональных систем, и первой отвечает на изменения характеристик окружающей среды [Агаджанян и др., 2004]. Целесообразность использования данного метода обосновывается его относительной простотой и дешевизной (что крайне важно при проведении исследований в полевых условиях), а также возможностью получения объективной и количественно учитываемой информации.

Одним из индикаторов влияния окружающей среды на организм можно считать изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС). В данных исследованиях нами рассматривались интервалы R-R синусового ритма, получаемые посредством снятия электрокардиограммы (ЭКГ) человека. Исследования проводились в пределах Кош-Агачского административного района Республики Алтай и г. Горно-Алтайска в 2011 и 2012 гг. на участках активных разломов с различной степенью геодинамической активизации. В эксперименте участвовали условно здоровые мужчины и женщины в возрасте 20–23 лет.

Исследования проходили в 3 этапа, каждый из которых длился четверо суток. Первый этап исследований проводился в августе 2011 г. на участках Белтир и Чаган-Узун. Волонтеры жили в лагере вдалеке от разломов и дважды в день посещали их на автомобиле. По территории разломов они гуляли пешком, проводя на каждом около часа.

Второй этап исследований проводился в октябре 2011 г. в г. Горно-Алтайске. Здесь волонтеры в течение двух суток посещали различные точки разлома, проходящего через город, и находились в каждой точке по 30 мин. В один из дней они обходили точки пешком, в другой – двигались на автомобиле (для исключения влияния двигательной активности на результат эксперимента). Следующие двое суток этого исследования были фоновыми – без посещения разломных точек.

Третий этап исследований проходил в августе 2012 г. на разломе Чаган-Узун. Волонтеры в течение четырех суток жили в лагере вдалеке от разлома и посещали разлом

дважды в день на автомобиле. Затем они около 3 ч гуляли в пределах территории разлома и возвращались в лагерь. Таким образом, суммарное время, проведенное одним волонтером на разломе за сутки, составляло около 6 ч.

Мониторинг сердечного ритма (в том числе и суточный) во время нахождения на активных геологических разломах позволяет получить информацию о реакции организма человека на изменяющиеся внешние воздействия и его способность к адаптации. Методически исследования строились таким образом, чтобы испытуемые в течение суток находились на участках с различной степенью геодинамической активности, т.е. в пределах различных геологических неоднородностей. Исследования функционирования сердечно-сосудистой системы человека в зонах тектонических разломов предварялись исследованиями в фоновых условиях с соблюдением одинакового времени этих интервалов.

Выполнение суточного мониторинга ЭКГ проводилось одновременно у двух волонтеров посредством системы холтеровского мониторирования «Валента» МН-02-5. Исследование включало три этапа: оснащение пациента монитором и суточная регистрация ЭКГ; считывание суточной записи из памяти монитора ЭКГ в компьютер; обзор и анализ суточной записи с формированием заключительного документа.

Одновременно с мониторингом ЭКГ двух волонтеров у третьего волонтера проводился круглосуточный контроль уровня сатурации крови, сопряженного с оценкой частоты пульса. Контроль осуществлялся с помощью портативного, размещаемого на запястье монитора WristOx 3100 с временной дискретизацией в 4 с и диапазоном эффективных изменений сатурации от 75 до 100 %.

Во время проведения мониторинга волонтеры вели дневник событий. В дневнике необходимо было отражать самочувствие, жалобы, вид деятельности и его изменения, прием пищи, периоды отдыха и сна и т.д. В табл. 1 в соответствии с записями волонтеров дан пример основных событий в течение суток.

Таблица 1. Пример распорядка дня волонтера

№ события	Время	Событие
1	19:00 – 19:45	Сбор дров
2	19:45 – 20:10	Ужин
3	20:10 – 20:45	Сбор дров
4	20:45 – 22:15	Спокойное времяпровождение в лагере
5	22:15 – 08:00	Сон
6	08:00 – 09:00	Пробуждение, завтрак
7	09:00 – 12:30	Прогулка вдоль дороги (вдоль разлома)
8	13:10 – 13:40	Обед
9	13:40 – 15:30	Спокойное времяпровождение в лагере
10	15:30 – 17:30	Прогулка в горах (в пределах простираения разлома)
11	17:30 – 18:30	Спокойное времяпровождение в лагере

Таким образом, при проведении исследований на каждом из трех изучаемых объектов в течение четырех суток было получено по 8 суточных записей ЭКГ и по 4 записи сатурации кислорода в крови испытуемого и частоты его пульса. Предварительная обработка ЭКГ каждого пациента в отдельности проводилась при помощи программного обеспечения, сопровождающего холтеровский монитор «Валента», и заключалась в считывании данных суточного мониторирования, поиске ошибок, неизбежно возни-

кающих вследствие разных факторов в ходе проведения эксперимента, и последующем их исправлении.

Одновременно с биофизическими измерениями на изучаемых участках проводились измерения магнитного поля и эманации подпочвенного радона. При этом использовался магнитометр ММП-303 сейсмической радоновой станции СРС-05 (измерялся полный вектор магнитного поля T). Одновременно определялись координаты точек (GPS-приемник Etrex). Съёмки велись в профильном и вариационном вариантах по стандартной методике.

При исследовании аномальных зон в г. Горно-Алтайске были выбраны 4 точки, в каждой из которых волонтеры были несколько раз за сутки. В табл. 2 в качестве примера представлены интервалы пребывания волонтеров на конкретном месте на вторые сутки исследования. В этот день испытуемые от точки до точки передвигались пешком.

Таблица 2. Соответствие места и времени пребывания волонтеров в аномальных зонах г. Горно-Алтайска (2-е сутки исследования)

Время	10:05– 10:35	10:40– 11:10	11:30– 12:00	12:10– 12:40	13:05– 13:35	13:50– 14:20	14:30– 15:00	16:10– 16:40	16:50– 17:20	17:25– 17:55
№ точки	1	2	3	4	3	2	1	1	2	3

Временной анализ ряда R-R интервалов проводится двумя методами. Первый метод включает расчет показателей на основе анализа продолжительности очередных интервалов R-R синусового ритма: mRR (среднее от всех интервалов R-R синусового ритма), SDNN (среднее квадратическое отклонение нормальных (NN) интервалов). Второй метод основан на анализе разницы между очередными интервалами R-R синусового ритма: MSD (средней разницы между очередными интервалами R-R), r-MSSD (корня квадратного из средней суммы квадратов разниц между очередными интервалами R-R), PNN50 (процента разниц между очередными интервалами R-R, превышающих 50 мс). Эти показатели могут вычисляться за все время наблюдения или за какие-то определенные промежутки в течение периода записи, что позволяет сравнивать изменчивость ритма сердца (BPC) в различные моменты жизнедеятельности (сон, отдых, и т.д.) [Дабровски и др., 1998].

Все показатели временного анализа рассчитывались на последовательных трехминутных интервалах суточных рядов данных периодов сердечных сокращений. В данной работе рассматриваются только mRR и SDNN, так как эти показатели отражают все циклические компоненты, ответственные за изменчивость в течение суточного периода записи ЭКГ (т.е. включают и кратковременные высокочастотные изменения, и компоненты очень низкой частоты, имевшие место в течение 24-часового периода наблюдения).

Для изучения частотных закономерностей изменений R-R интервала в течение суток нами был использован анализ спектральной плотности мощности колебаний. Эта процедура дает информацию о распределении мощности в зависимости от частоты колебаний. Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и наглядно (графически) представить соотношения разных компонентов сердечного ритма, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма. Быстрое преобразование Фурье дает возможность получить спектры изменчивости интервалов R-R синусового ритма. Эти спектры разделяют по амплитуде частот на следующие поддиапазоны [Дабровски и др., 1998]:

- 1) ультранизкие частоты (ULF) – до 0.015 Гц (66 с). Зависит главным образом от симпатической системы;
- 2) очень низкие частоты (VLF) – 0.015–0.04 Гц (25–66 с). Зависит главным образом от симпатической системы;
- 3) низкие частоты (LF) – 0.04–0.15 Гц (6.6–20 с). Зависит одновременно от симпатической и парасимпатической систем. Условно трактуется как показатель активности симпатической системы;
- 4) высокие частоты (HF) – 0.15–0.4 или 0.5 Гц (2–6.6 с). Зависит от парасимпатической системы (изменение дыхания). Является показателем активности парасимпатической системы.

Анализ спектральной плотности мощности колебаний ряда R-R интервалов также проводился на последовательных трехминутных интервалах.

Данные мониторинга сатурации кислорода и пульса третьего волонтера также были приведены к сравнимому виду. На последовательных трехминутных интервалах суток для сатурации было посчитано среднее значение (O2_sr) и стандартное отклонение (O2_sig), а значения частоты пульса были преобразованы в периоды сердечных сокращений и затем рассчитаны показатели временного анализа mRR и SDNN.

Вариабельность ритма сердца в значительной мере зависит от степени напряжения регуляторных систем, обусловленной возникающей в ответ на любое стрессорное воздействие активацией системы гипофиз–надпочечники и реакцией симпатoadреналовой системы. Здоровый организм, обладая достаточным запасом функциональных возможностей, отвечает на воздействие нормальным, так называемым рабочим напряжением регуляторных систем. Однако даже в условиях покоя напряжение может быть высоким, если человек не имеет достаточных функциональных резервов. Это выражается, в частности, в высокой стабильности сердечного ритма, характерного для повышенного тонуса симпатической нервной системы. Важная роль при этом принадлежит центральной нервной системе, которая координирует и направляет все процессы в организме [Баевский, 1984].

Результаты исследования

Рассчитанные показатели позволили установить некоторые особенности функционирования сердечно-сосудистой системы в пределах рассматриваемых аномальных зон.

На рис. 3–5 представлены суточные динамики выбранных показателей временного анализа R-R интервалов и сатурации кислорода во время нахождения волонтеров на тех или иных разломах в различные дни проводимых исследований. В соответствии с дневниковыми записями волонтеров на графиках выделены и пронумерованы временные интервалы, соответствующие их пребыванию в зонах исследуемых аномалий.

Как видно из данных, приведенных на рис. 3, при событиях 1 и 2 в исследованиях 2001 г. (прогулка по Курайскому разлому и расположенному вблизи оползню Арха-Узюк) показатель mRR имеет одно из наименьших значений за сутки, что говорит о наибольшем напряжении сердечно-сосудистой системы. Схожим образом ведет себя параметр SDNN; обычно его уменьшение отмечается при выполнении нагрузочных тестов: в большинстве случаев он принимает значение ниже 40 мс. Согласно данным работы [Баевский и др., 1984], такое поведение SDNN характерно для пациентов с относительным превалированием тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. Схожим образом вел себя ЧСС в исследованиях 2012 г. (см. рис. 4).

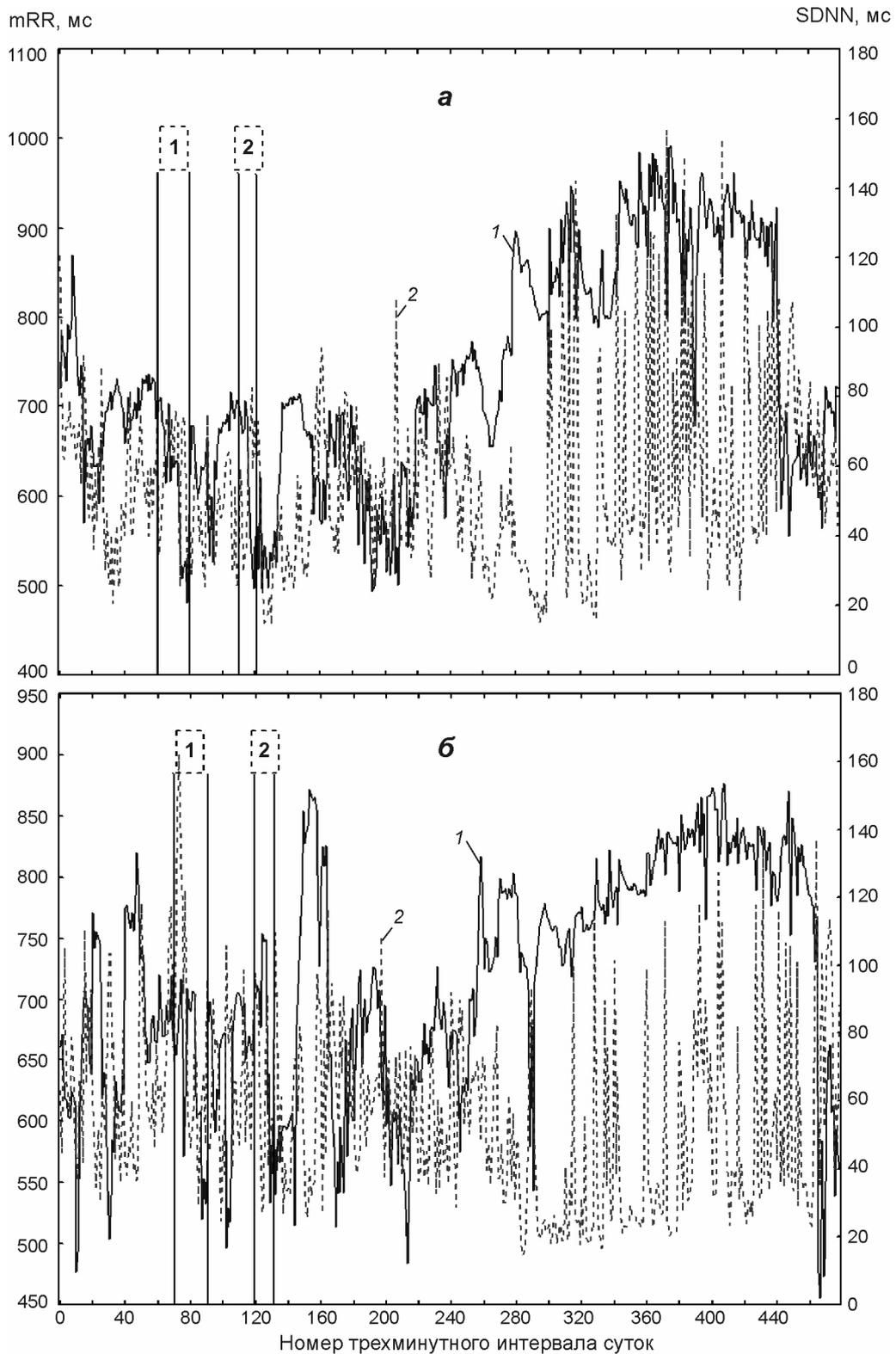


Рис. 3 (начало). Суточная динамика показателей mRRR и SDNN по дневниковым записям трех волонтеров (а–в соответственно) и O2_sg и O2_sig (г – волонтер «б») (2-е сутки исследования, август 2011 г.)
1, 2 – номера событий

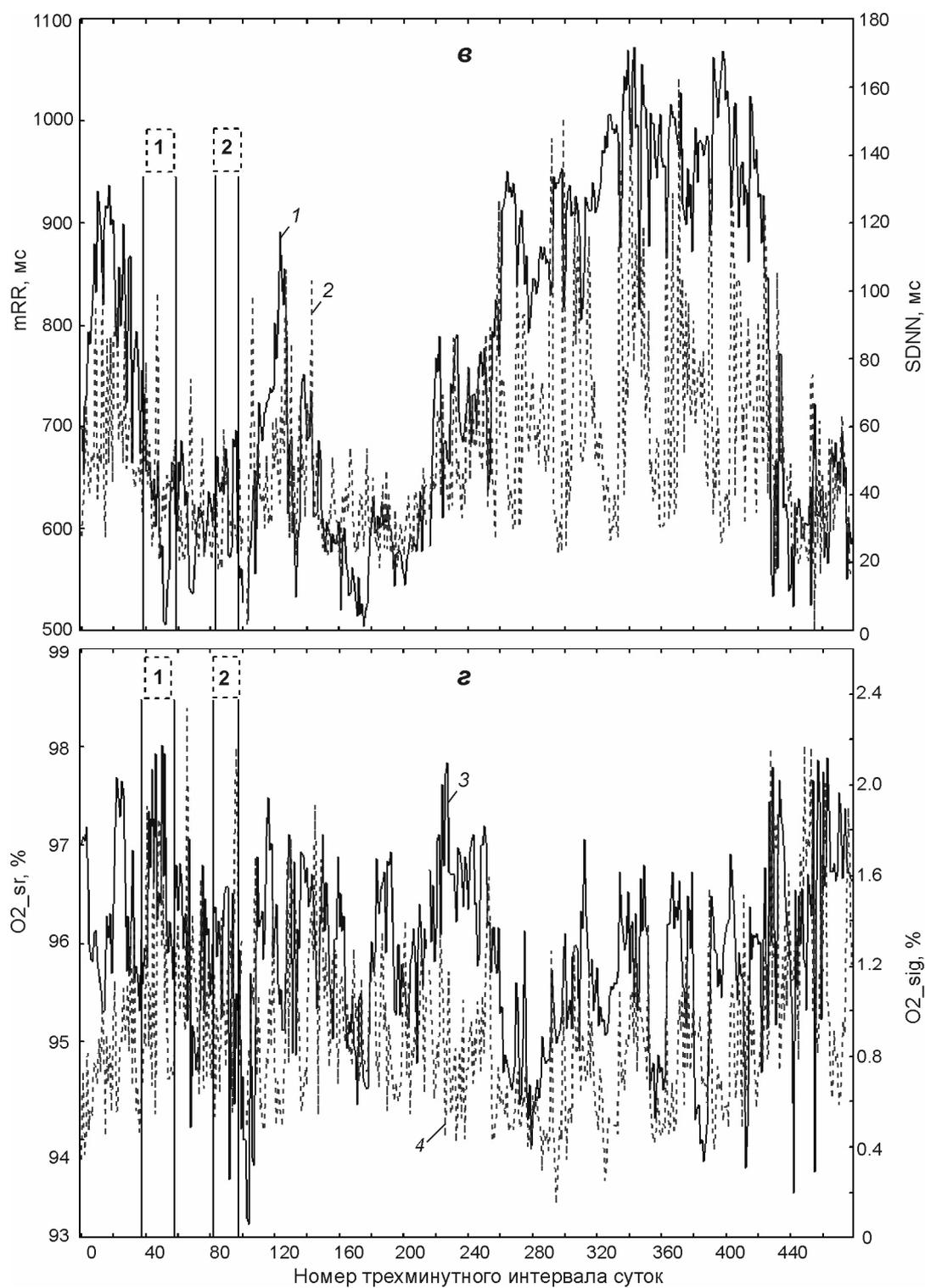


Рис. 3 (окончание)

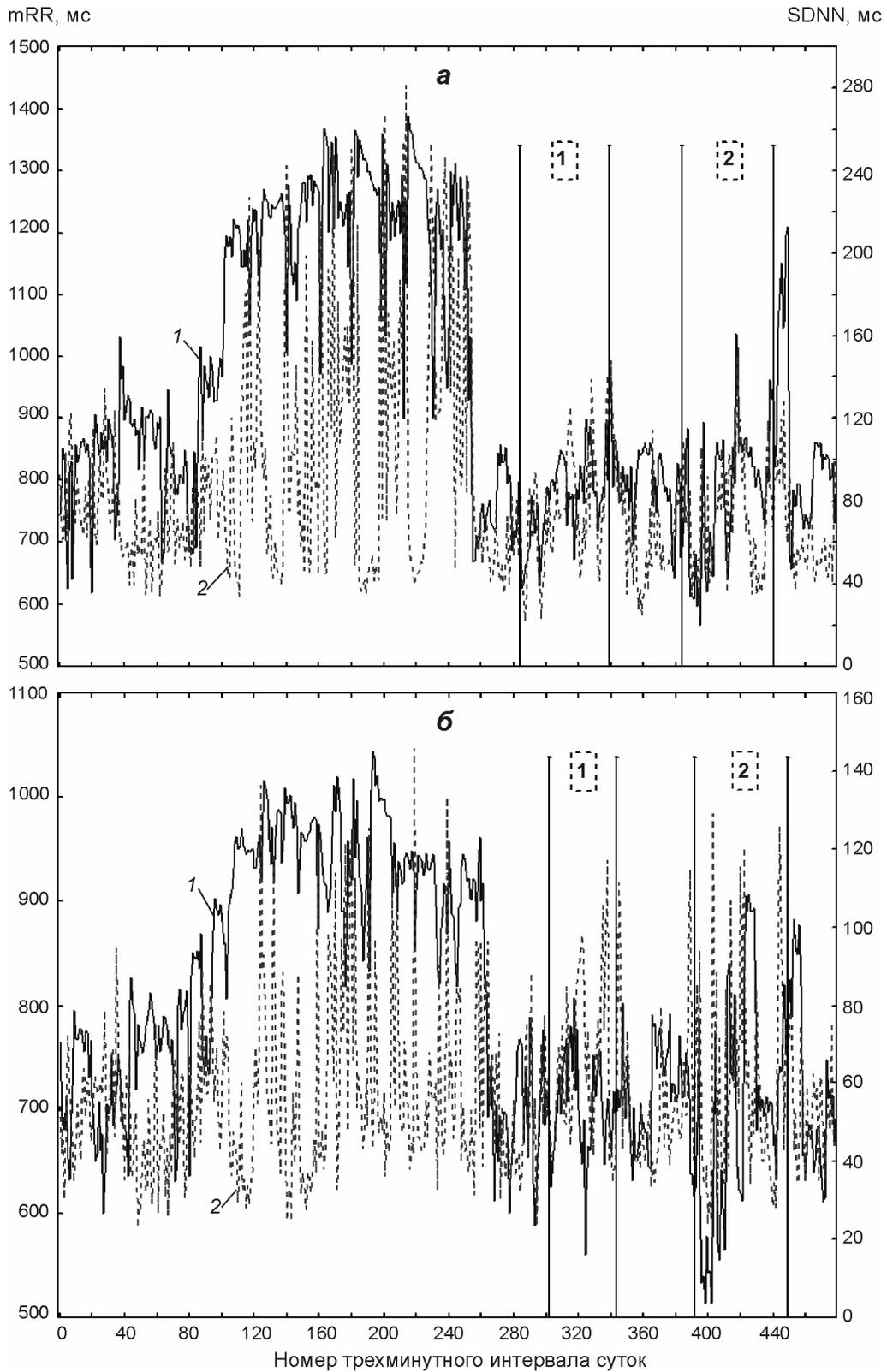


Рис. 4. Суточная динамика показателей mRR и SDNN для двух волонтеров (2-е сутки исследования, август 2012 г.)

1, 2 – номера событий

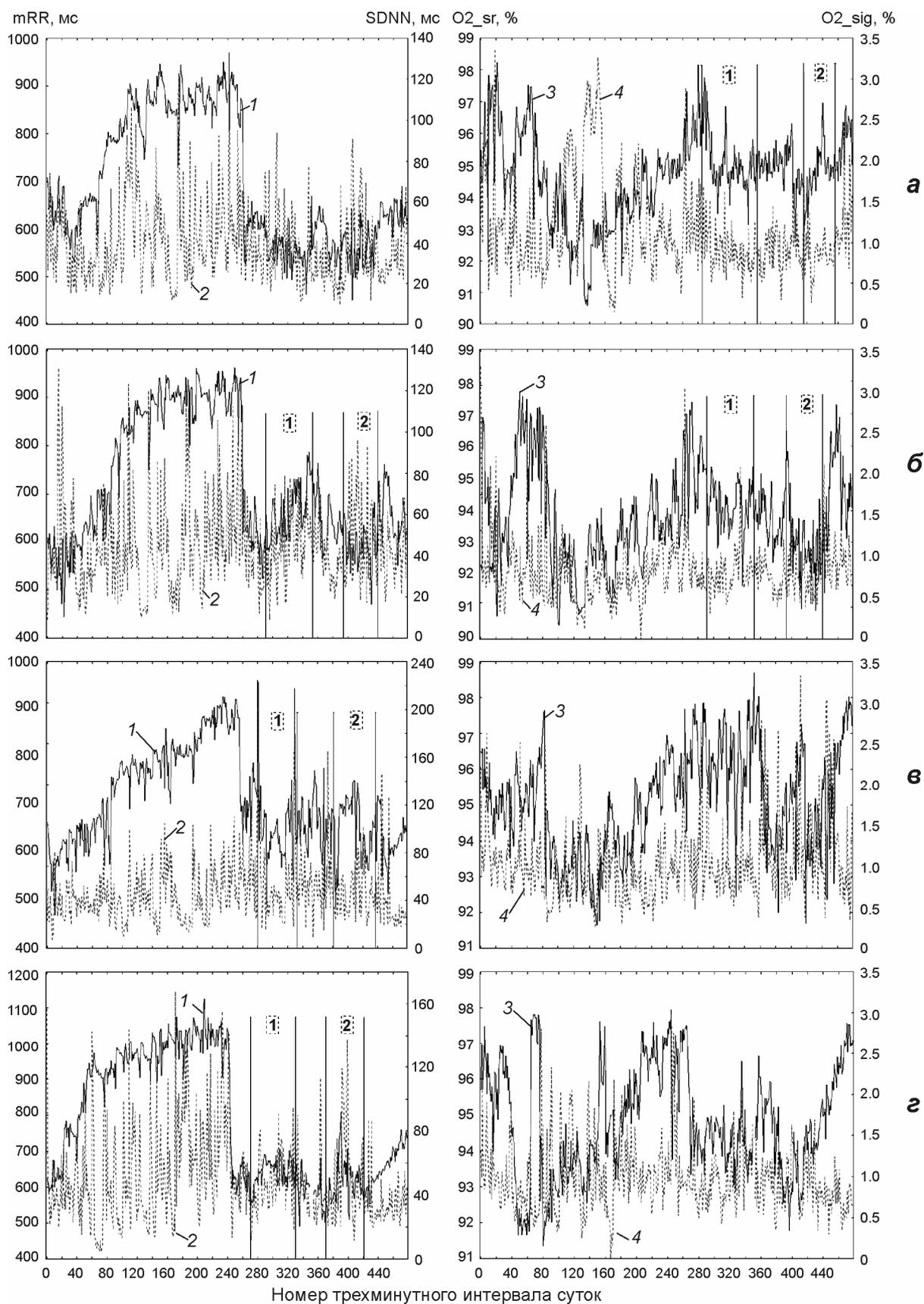


Рис. 5. Временная динамика показателей mRR (1), SDNN (2), O₂_sr (3) и O₂_sig (4) по данным суточного мониторинга одного из волонтеров с 20 по 23.08.2012 г.

а – 20.08.2012 г.; *б* – 21.08.2012 г.; *в* – 22.08.2012 г.; *г* – 23.08.2012 г. 1, 2 – номера событий

Кривые изменения кислорода в крови (см. рис. 5) характеризуют суточную деятельность организма, а также отмечают пониженными значениями время нахождения в зоне активного разлома.

Дневная динамика показателей mRR на активном разломе в г. Горно-Алтайске (рис. 6) показывает, что в данных условиях адаптивные возможности сердечно-сосудистой системы легко подстраиваются под аномальные характеристики среды, которые, таким образом, не оказывают на них заметного влияния.

Сопоставление значения mRR и напряженности полного вектора магнитного поля ΔT показывает некоторую взаимосвязь этих характеристик (рис. 7), что позволяет сделать осторожный вывод о существенной роли геомагнитного поля в пределах разломных зон или геологических характеристик, с которыми связаны геомагнитные аномалии, на функционирование некоторых систем организма человека (возможно, нервной системы).

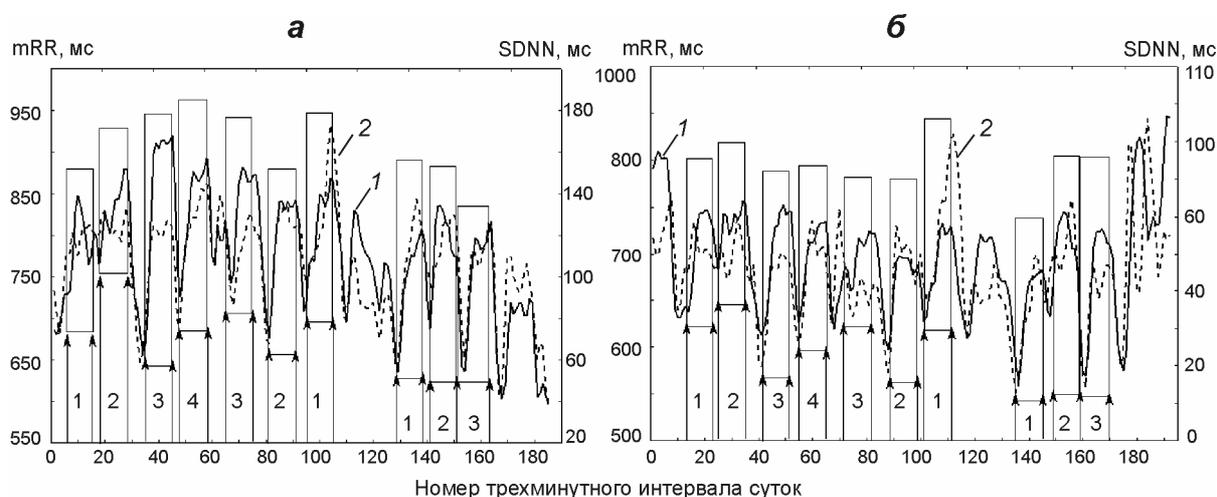


Рис. 6. Пример дневной динамики показателей mRR и SDNN двух волонтеров (*а* и *б* соответственно) на разломе в г. Горно-Алтайске в октябре 2011 г. (2-е сутки исследования)

1 – mRR; 2 – SDNN. 1–4 – номера событий

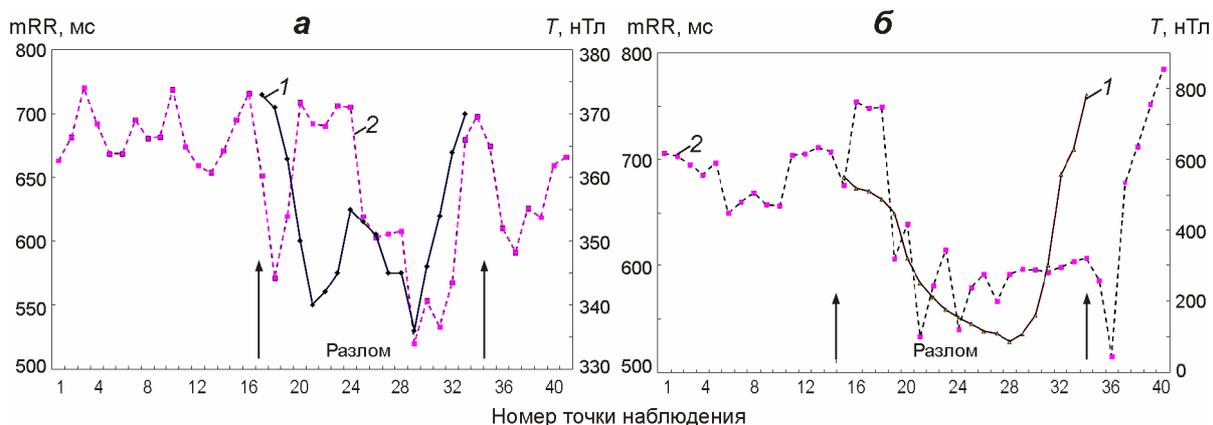


Рис. 7. Графики напряженности магнитного поля T (1) и mRR (2) в пределах участков Белтир (*а*) и Чаган-Узун (*б*). Стрелками показаны разломные зоны

Сопоставление динамики R-R интервалов и динамики радона выявило отрицательную связь между этими параметрами, что может свидетельствовать о том, что увеличение эманации радона приводит к уменьшению R-R интервалов, обуславливая стресс-реакцию сердечно-сосудистой деятельности. Так, 20 августа 2012 г. коэффициент корреляции (по Пирсону) составлял 0.43–0.51, 23 августа 2012 г. – 0.38–0.41 (рис. 8).

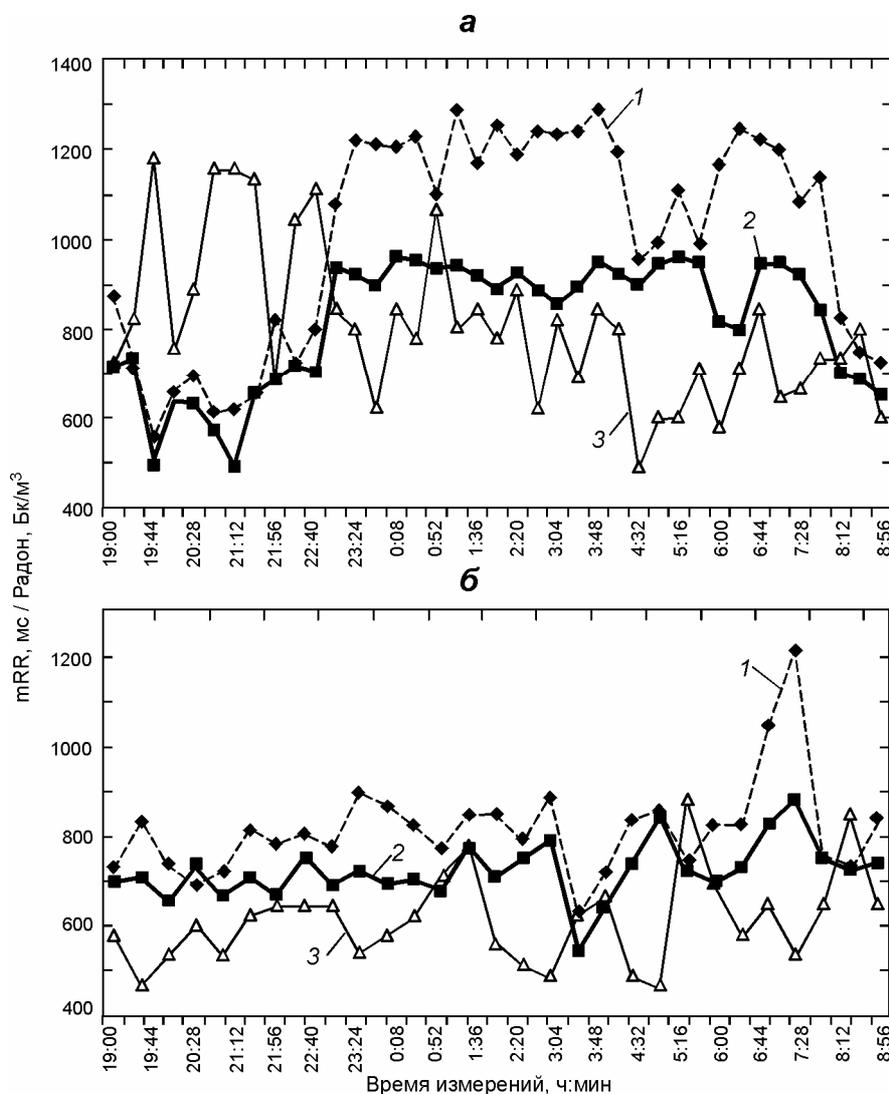


Рис. 8. Сопоставление динамики радона и показателей mRR одного из волонтеров за 20 (а) и 23.08.2012 г. (б)

Были также построены исходные амплитудно-частотные характеристики вариаций R-R интервалов для каждого волонтера с указанными, согласно дневнику исследования, интервалами. По оси абсцисс отложено время в номерах трехминутного интервала суток (отсчет ведется от начала исследования для каждого из волонтеров), по оси ординат – спектральная плотность мощности в различных диапазонах частот (рис. 9).

В дальнейшем нами были рассчитаны значения амплитудно-частотных характеристик, усредненных по трехминутным интервалам, которые были разделены на отрезки согласно дневнику исследования. Для каждого волонтера в пределах общего файла и выделенных интервалов была посчитана корреляция между полосами.

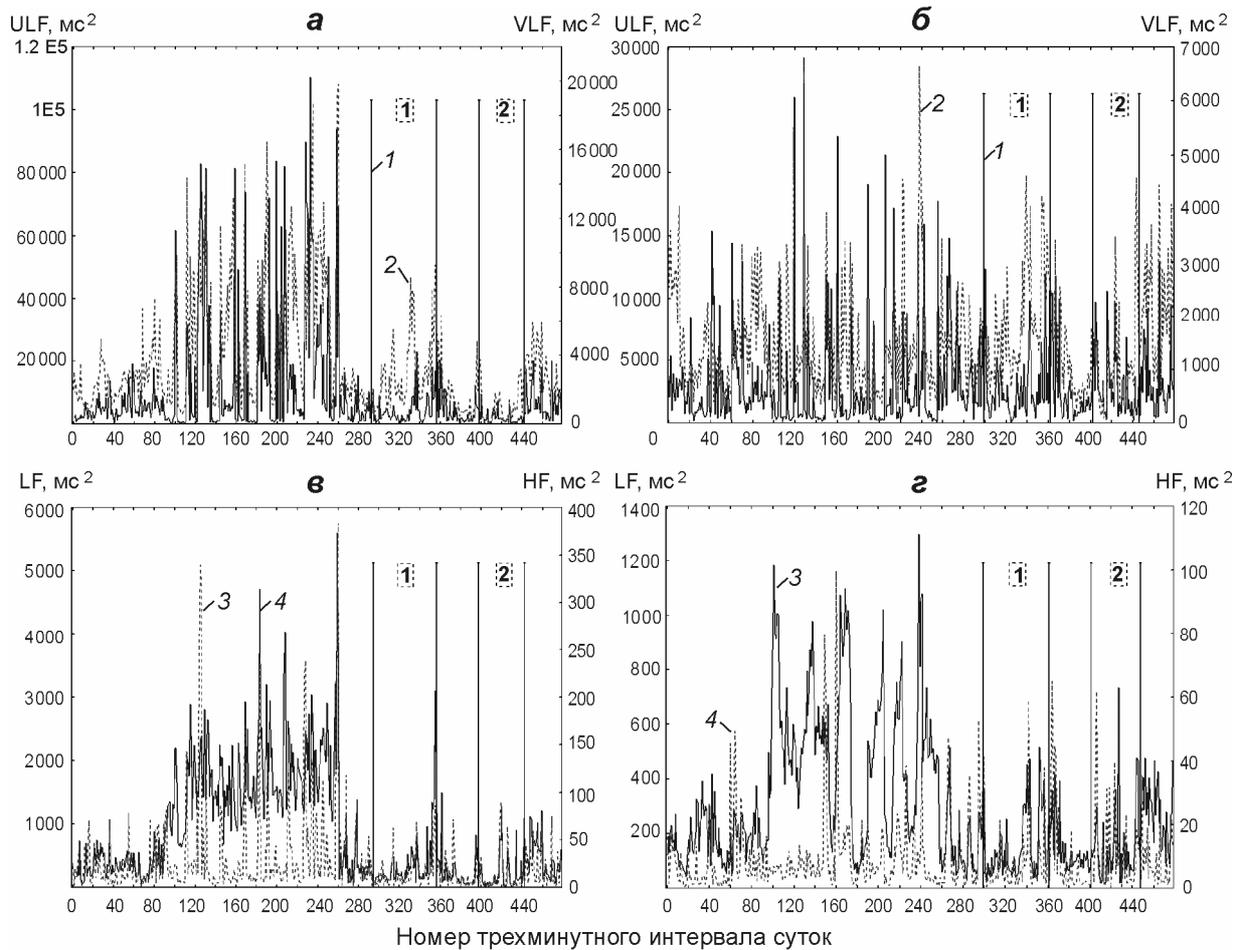


Рис. 9. Пример суточного распределения спектральной плотности мощности колебаний в различных диапазонах частот для двух волонтеров (а, в и б, г соответственно) по результатам измерений 21.08.2012 г.

Частоты: 1 – ULF; 2 – VLF; 3 – LF; 4 – HF. 1, 2 – номера событий

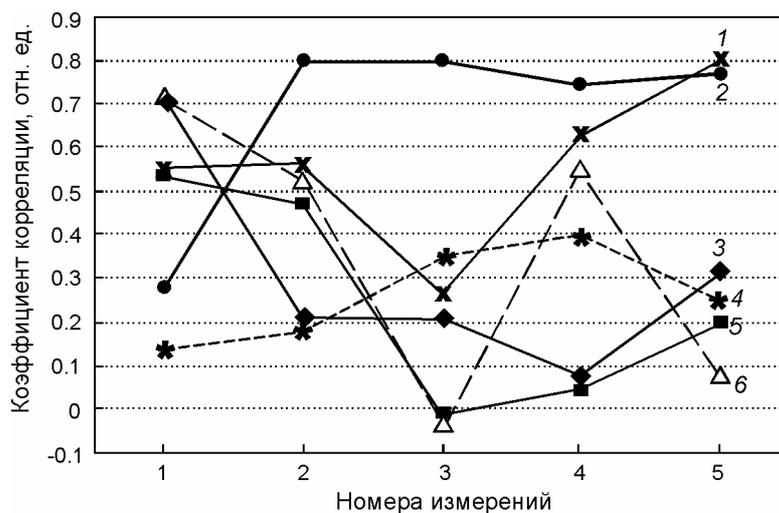


Рис. 10. Пример корреляций между разными диапазонами частот в третий день измерения у одного из волонтеров

1 – VLF/LF; 2 – LF/HF; 3 – ULF/VLF; 4 – VLF/HF; 5 – ULF/LF; 6 – ULF/HF

Изучение корреляций между диапазонами выявило значимое уменьшение коэффициента корреляции в аномальных участках (разломных зонах) для всех волонтеров (рис. 10) и отсутствие значимых закономерностей между волонтерами. Помимо этого, было рассмотрено изменение средней спектральной плотности мощности и стандартного отклонения R-R интервалов в течение суток на выделенных при помощи дневников волонтеров характерных временных интервалах. Выявлен ряд закономерностей. Так, в некоторых разломных зонах выделяются по спектральной мощности и стандартному отклонению вариации R-R интервалов. Отчетливо выделяется аномальная зона, расположенная близ с. Белтир (временной интервал 3) (рис. 11).

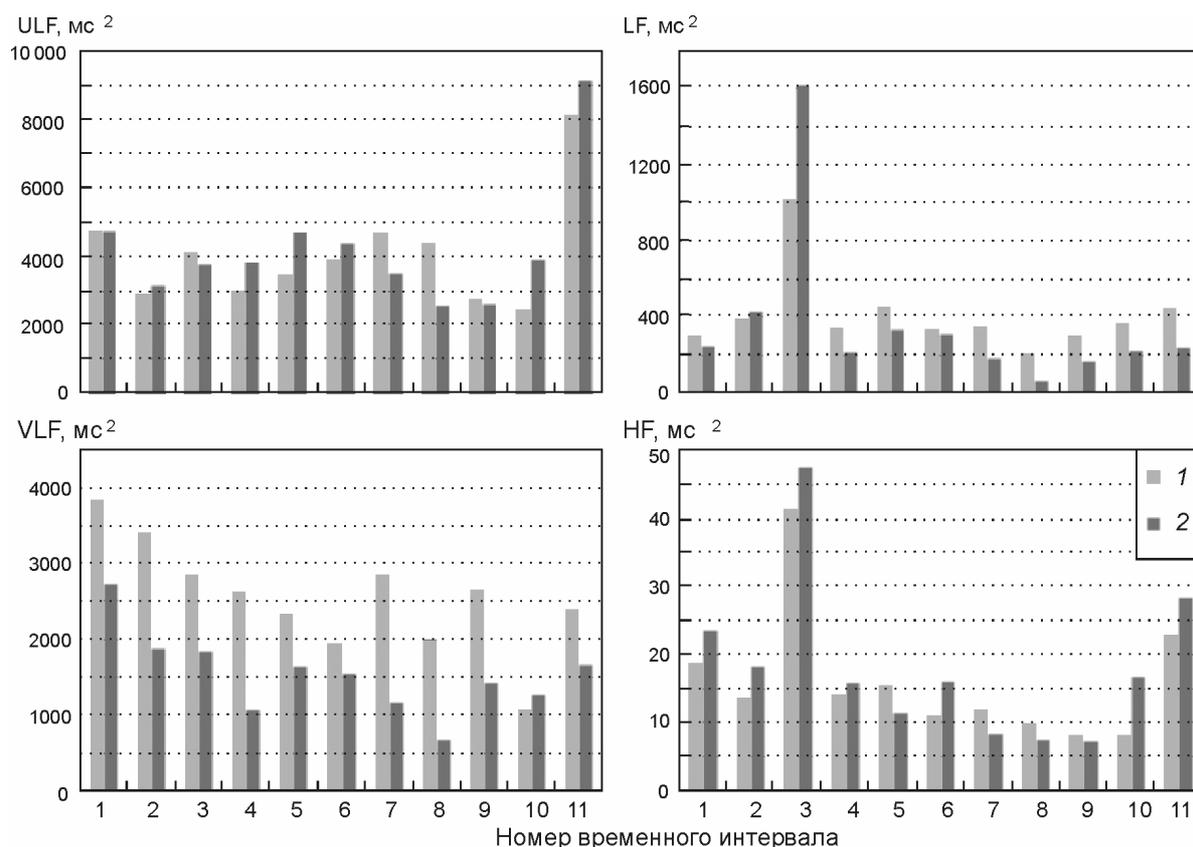


Рис. 11. Средняя спектральная плотность мощности (1) и стандартное отклонение R-R интервалов (2) у одного из волонтеров на временных интервалах, выделенных согласно его дневнику (2-й день исследования, август 2011 г.)

Кроме этого, были построены выборочные гистограммы вероятности конкретных периодов сердечных сокращений. Данные гистограммы отображают напряженность функционирования сердца и представляют частоты наиболее вероятных значений встречаемости R-R интервалов в 21 диапазоне за соответствующие временные интервалы (количество интервалов подобрано эмпирически). Так как у каждого человека – своя средняя частота сердечных сокращений, то для получения интегральной оценки исходные данные были стандартизированы (рис. 12, а–в).

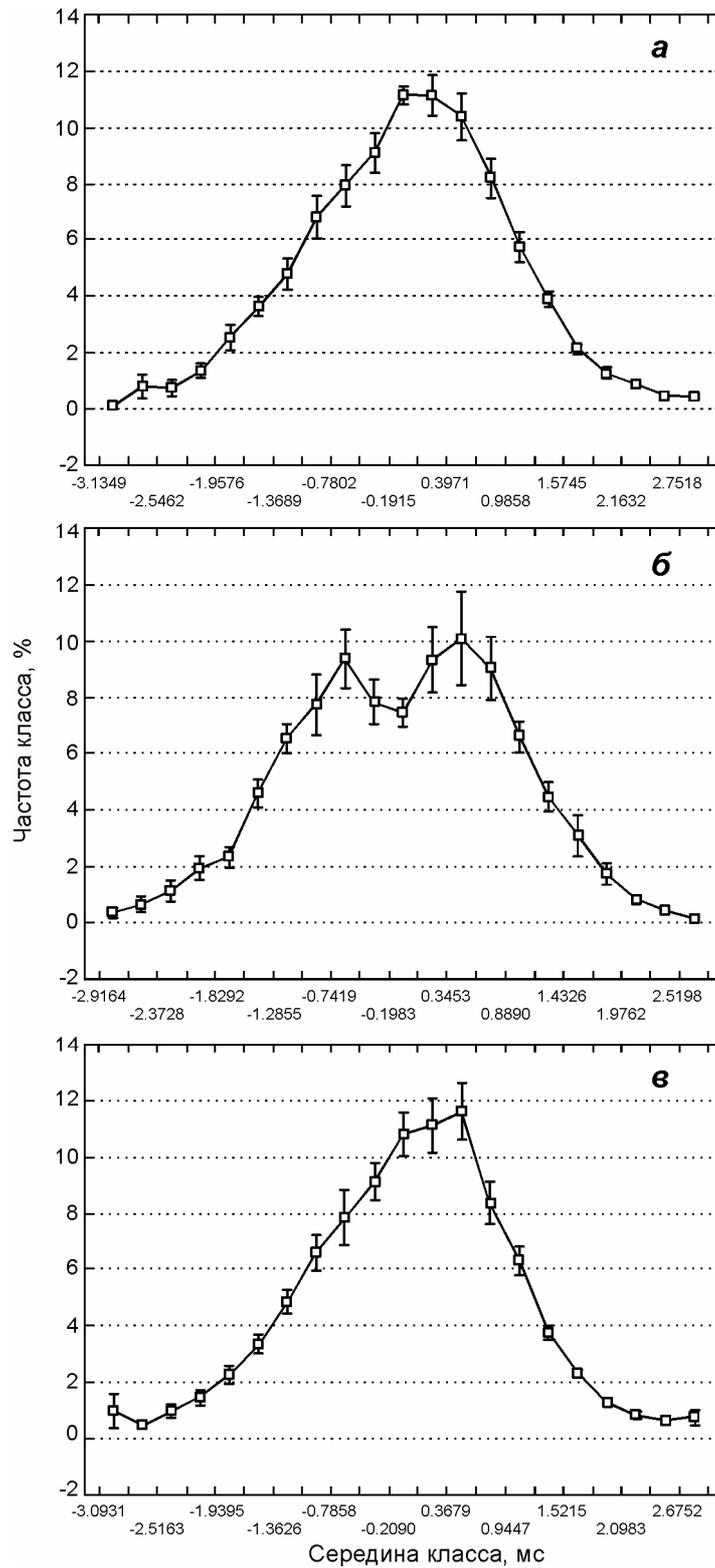


Рис. 12. Интегральная оценка плотностей вероятности (среднее значение и пределы колебаний) конкретных периодов сердечных сокращений 10 волонтеров до (а), во время (б) и после (в) их нахождения на разломе

Обсуждение результатов

Анализ вариаций mRR интервалов показал, что на фоне суточной ритмики отмечаются также изменения, связанные со сменой физической нагрузки волонтера и его пребыванием в пределах активных разломов (см. рис. 3–12). При этом на фоне нормального функционирования сердечной деятельности проявляются признаки напряжения сердечно-сосудистой системы, что может быть связано с влиянием стрессовых условий при посещении зон разлома.

Данные изменения – довольно слабые на фоне суточных изменений mRR интервалов ввиду многофакторности внешних воздействий. Поэтому нами были изучены спектральные закономерности. Исследования показали, что в зонах разломов меняются характеристики спектров, особенно LF и HF диапазона. Отметим, что последствия данного развития стресса могут проявляться и спустя некоторое время после посещения территории разлома (например, в период сна).

Необходимо отметить, что при проведении подобных исследований практически невозможно соблюдать условия «слепого» опыта, когда волонтеры не знают, где они находятся. Кроме того, следует учитывать выявленное нами влияние нахождения волонтеров в эпицентральной зоне на психофизиологические характеристики организма, а также рост нервных и психических заболеваний в афтершоковый период [Ильиных и др., 2007], что может свидетельствовать о комплексном воздействии всех текущих факторов на организм, находящийся в подобных условиях.

Кроме того, при нахождении человека в пределах зон разломов статистически значимо уменьшается значение mRR и возрастает количество случаев тахикардии. То есть нахождение даже здорового человека в пределах участков активизированных разломов может спровоцировать внезапное учащение сердцебиений в состоянии покоя до 140–200 ударов в минуту, при этом R-R интервал уменьшается с 600 до 480 мс, провоцируя явление аритмии. Это явление сопровождается изменением содержания кислорода в крови. Данные факты могут быть связаны с реакцией симпатической нервной системы, которая ускоряет атриовентрикулярную проводимость и повышает сократимость сердца человека в пределах тектонических разломов.

Проявление бимодальности в гистограммах распределения плотностей вероятности (см. рис. 12) свидетельствует о том, что во время нахождения волонтеров в пределах разломов доминирует симпатическая регуляция как следствие коррекции вегетативных функций со стороны центральной нервной системы, т.е. организм находится в напряжении. Появление второй моды однозначно свидетельствует о повышенной и системной активации защитных сил организма. Следует отметить, что изменение характера сердечно-сосудистой деятельности наступало практически сразу после того, как волонтер покидал разломную зону.

Известно, что когда речь идет об адаптации (приспособлении) организма к каким-либо условиям, необходимо говорить именно о «направленном» варьировании самых разнообразных функций организма и о выраженности каждой из них в соответствии с «требованием» измененного гомеостаза. В этой связи рассматриваемый нами показатель mRR выступает как показатель реакции организма человека. Это означает, что процесс пребывания организма в пределах конкретной геологической аномалии может сопровождаться изменениями в функционировании сердечно-сосудистой системы, приводящей к увеличению либо к уменьшению mRR, возможно, в зависимости от комплекса влияющих факторов, в том числе и геолого-геофизических характеристик. При

этом процесс адаптации реализуется во всех случаях, когда в системе человек–среда возникают значимые изменения, приводящие к нарушению адекватности их отношений. Поскольку человек и среда находятся в динамическом равновесии, их отношения меняются постоянно, также постоянно осуществляется и процесс адаптации. Таким образом, этот процесс не всегда является эффективным и может способствовать, проявившись на «благодатной» почве, развитию той или иной патологии, к которой организм уже был подготовлен воздействием других факторов.

Необходимо отметить, что при изучении развития патологии при воздействии на организм человека доз радиации установлено, что первичная реакция проявлялась в виде вегетососудистых дистоний дыхательных путей вследствие воздействия радионуклидов и некоторых астено-вегетативных признаков [Сиваченко и др., 1996]. Также отмечалось обострение хронических заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы вследствие перенапряжения защитно-приспособительных механизмов, что очень похоже на полученные нами результаты.

Кроме того, нами анализировались «третьи» факторы, которые могли быть источником полученных аномальных изменений. К ним относятся, в частности, геолого-почвенные особенности местности. Но учитывая практически полное отсутствие почвенного покрова в пределах изучаемых зон, этот фактор не принимался во внимание как возможный фактор воздействия. Также широко известно влияние характеристик рельефа на вариацию сердечно-сосудистой деятельности, но в нашем случае практически все исследования (за исключением одного в 2012 г., когда волонтеры поднимались на небольшую горку вкост простирания разлома) производились на ровном месте, т.е. рельеф не мог вызвать подобную реакцию сердечно-сосудистой системы.

Планируется дальнейшее изучение влияния разломных зон Горного Алтая на сердечно-сосудистую систему человека и поиск факторов воздействия.

Подводя некоторые итоги, отметим, что изменение R-R интервала есть ответная реакция организма человека, реализуемая на основе воздействия комплекса природных факторов окружающей среды. Сила воздействия последних определяется общим состоянием организма и его отдельных систем, участвующих в адекватном ответе. Степень функциональной адекватности прямо пропорциональна величине влияния (нагрузки) факторов. Чем сильнее величина (нагрузка) факторов, тем меньше сопротивление функциональных систем организма, и наоборот, чем менее интенсивное воздействие факторов, тем сильнее сопротивление. Применительно к нашим исследованиям это выражается в изменении mRR, т.е. измеряемые нами характеристики, а также результаты их анализа могут служить индикаторами степени активности геологических процессов, а также способствовать поиску аномальных участков.

Выводы

В пределах активного разлома меняются параметры временной динамики сердечно-сосудистой деятельности организма человека. Также изменяются показатели среднего и дисперсии содержания кислорода в крови.

Отрицательный коэффициент корреляции динамики периода сердечных сокращений с динамикой радона на активном разломе свидетельствует о том, что повышение радонных эманацій оказывает отрицательное влияние на здоровье человека, что выражается в понижении R-R интервала и понижении уровня содержания кислорода в крови. Для более точных заключений необходимы дальнейшие исследования.

В целом разломы значимо влияют на сердечно-сосудистую деятельность человека, особенно в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения, что может быть использовано (при определенных ограничениях) как биоиндикационный параметр для поиска геологически активных участков, оказывающих влияние на организм человека.

Литература

- Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева П.П. Функциональные резервы организма и теория адаптации // Вестн. восстан. медицины. 2004. № 3(9). С. 4–10.
- Ананьин И.В. Сильные землетрясения и биологические аномалии // Наука в России. 2000. № 1. С. 74–78.
- Апраткина М.Л., Бородин А.С., Тужилкин Д.А. Напряженность деятельности сердечно-сосудистой системы человека как индикатор вариаций комплекса экологических факторов окружающей среды // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: Тр. VI Международной научно-практической конференции. Ростов н/Д, 2010. С. 22–25.
- Антикаева О.И., Шитов А.В. Динамика заболеваемости населения до и после сильных землетрясений и ее связь с другими природными факторами (на примере Чуйского землетрясения 2003 г.) // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8, № 3. С. 46–55.
- Баевский Р.М., Кириллов О.Н., Клецкин С.М. Математический анализ сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 270 с.
- Березин А.А., Гусев Г.А., Гуфельд И.Л. Воздействие геофизических полей на биологические системы и проблемы прогноза сильных землетрясений // Проблемы геофизики XXI века / Под ред. А.Н. Николаева. М.: Наука, 2003. Кн. 2. С. 37–70.
- Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. М.: Изд-во МГУ, 2000. 256 с.
- Боярских И.Г., Шитов А.В. Особенности внутривидовой изменчивости плодов *Lonicera caerulea* L. в связи с активными геологическими процессами Горного Алтая // Вестн. ТГУ. 2011. № 348. С. 143–147.
- Гвоздарев А.Ю. Построение карт-схем активности и плотности потока радона на территории Республики Алтай и анализ ее связи с заболеваемостью // Основные проблемы охраны окружающей среды и благополучия человека в Сибирском федеральном округе, перспективы их решения: Сб. материалов конференции. Горно-Алтайск, 2006. С. 137–147.
- Дабровски А., Дабровски Б., Пиотрович Р. Суточное мониторирование ЭКГ: Пер. с англ. М.: Медпрактика, 1998. 204 с.
- Достовалова М.С. Развитие сейсмодислокаций в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения 2003 г. // Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия: Материалы научно-практической конференции / Под ред. А.В. Шитова. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2004. С. 92–101.
- Ильиных И.А., Воронков Е.Г., Велиляева Э.С., Воронкова Е.Г., Шитов А.В., Кочеева Н.А. Психическое состояние человека в экстремальных условиях (высокогорья и физической нагрузки) // Современные проблемы геоэкологии горных территорий: Материалы 2-й Международной научно-практической конференции. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. С. 133–136.
- Магниторазведка: Справочник геофизика / Под ред. В.Е. Никитского, Ю.С. Глебовского. М.: Недра, 1980. 367 с.
- Мельников Е.К., Рудник В.А., Мусийчук Ю.И., Рымарев В.И. Патогенное воздействие зон активных разломов земной коры Санкт-Петербургского региона // Геоэкология. 1994. № 4. С. 50–69.

- Рождественская Т.А., Ельчинонова О.А., Пузанов А.В.* Элементный химический состав растений Горного Алтая и факторы, его определяющие // *Материалы Междунар. конф. «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных территорий: настоящее, прошлое и будущее».* Горно-Алтайск, 2008. С. 110–114.
- Сиваченко В.Н., Зеневич М.В., Гарбуз Л.А.* Механизмы развития патологии и ее структура при воздействии малых доз радиации на организм человека // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы междунар. конф., г. Томск, 22–24 мая 1996 г.* Томск: Изд-во ТПУ, 1996. С. 328–331.
- Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Кале Э., Дучков А.Д., Запирева Е.А., Казанцев С.А., Русбек Ф., Брюникс К.* Поля и модели смещений земной поверхности Горного Алтая // *Геология и геофизика.* 2006. № 47 (8). С. 923–937.
- Трифонов В.Г., Караханян А.С.* Геодинамика и история цивилизаций. М.: Наука, 2004. 668 с.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология. М.: Геоинформаркет, 2002. 465 с.
- Тужилкин Д.А., Бородин А.С.* Воздействие физических полей окружающей среды на сердечно-сосудистую систему человека // *Изв. вузов. Физика.* 2012. № 8/3. С. 167–168.
- Туркин Ю.А., Федак С.И.* Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. Томск: STT, 2006. 460 с.
- Умидова З.И., Арипджанов А.А. и др.* Особенности клинического течения гипертонической болезни и коронарной недостаточности // *Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года.* Ташкент: ФАН, 1971. С. 635–639.
- Флоринский И.В.* Узлы пересечения разломов и зоны аккумуляции потоков: анализ соотношений // *Изв. РАН. Сер. географ.* 2001. № 6. С. 83–95.
- Шитов А.В.* Динамика природных характеристик и здоровье населения (на примере Чуйского землетрясения 2003 г.). Saarbrücken: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. 130 с.
- Шитов А.В., Воронков В.Г., Воронкова Е.Г., Велляева Э.С., Боярских И.Г., Каранин А.В., Кузнецова О.В.* Об изучении влияния геологических процессов на биологические системы (на примере Горного Алтая) // *Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: Тр. Международной научно-практической конференции.* М.: МГУ, 2009. С. 30–32.
- Шитов А.В., Апраткина М.В., Бородин А.С., Акеньшина В.И.* О влиянии активных разломов на сердечно-сосудистую деятельность человека // *Экологический риск и экологическая безопасность: Материалы III Всероссийской научной конференции.* Иркутск: ИГ СО РАН, 2012. Т. 1. С. 141–143.
- Chen C.H., Tan H.K., Liao L.R., Chen H.H., Chan C.C., Cheng J.J., Chen C.Y., Wang T.N., Lu M.L.* Long-term psychological outcome of 1999 Taiwan earthquake survivors: a survey of a high-risk sample with property damage // *Compreh. Psych.* 2007. N 48. P. 269–275.
- Kario K., McEwen B.S., Pickering T.G.* Disasters and the heart: a review of the effects of earthquake-induced stress on cardiovascular disease // *Hypertension Res.* 2003. N 26. P. 355–367.
- Lai S.-W., Liu C.-S., Li C.-I., Tan C.-K., Ng K.-C., Lai M.-M., Lin C.-C.* Post-earthquake illness and disease after the Chi-Chi earthquake // *Europ. J. Intern. Med.* 2000. N 11. P. 353–354.
- Matsuoka T., Yoshioka T., Oda J., Tanaka H., Kuwagata Y., Sugimoto H., Sugimoto T.* The impact of a catastrophic earthquake on morbidity rates for various illnesses // *Publ. Health.* 2000. N 114. P. 249–253.
- Parati G., Antonicelli R., Guazzarotti F., Paciaroni E., Mancina G.* Cardiovascular effects of an earthquake: Direct evidence by ambulatory blood pressure monitoring // *Hypertension.* 2001. N 38. P. 1093–1095.
- Şalcioğlu E., Başoğlu M., Livanou M.* Long-term psychological outcome for non-treatment-seeking earthquake survivors in Turkey // *J. of Nervous and Mental Disease.* 2003. N 191. P. 154–160.

Sokejima S., Nakatani Y., Kario K., Kayaba K., Minowa M., Kagamimori S. Seismic intensity and risk of cerebrovascular stroke: 1995 Hanshin-Awaji earthquake // *Prehosp. and Disaster Med.* 2004. N 19. P. 297–306.

Takakura R., Himeno S., Kanayama Y., Sonoda T., Kiriya K., Furubayashi T., Yabu M., Yoshida S., Nagasawa Y., Inoue S., Iwao N. Follow-up after the Hanshin-Awaji earthquake: diverse influences on pneumonia, bronchial asthma, peptic ulcer and diabetes mellitus // *Intern. Med.* 1997. N 36. P. 87–91.

Сведения об авторах

ШИТОВ Александр Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Горно-Алтайский государственный университет. 649000, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, д. 1. Тел.: (38822) 279-24. E-mail: sav@gasu.ru

БОРОДИН Александр Семенович – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634029, г. Томск, ул. Никитина, д. 4. Тел.: (3822) 413-976. E-mail: bas_56@mail.ru

ТУЖИЛКИН Дмитрий Алексеевич – аспирант, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634045, г. Томск, ул. Ф. Лыткина, д. 14. Тел.: (3822) 413-976. E-mail: dmitry-88@mail.ru

АПРЯТКИНА Марина Леонидовна – аспирантка, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634041, г. Томск, ул. Енисейская, д. 27, кв. 13. Тел.: (3822) 413-976. E-mail: zatvor@mail2000.ru

THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS OF ACTIVE GEOLOGICAL FAULTS ON THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF A MAN

A.V. Shitov¹, A.S. Borodin², D.A. Tughilkin², M.L. Apryatkina²

¹ Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Russia

² National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Abstract. The paper presents the results of the research of a cardiovascular system of people residing within the zone of geological faults in Gorny Altai. The work shows that staying of a man in this zone leads to changes in functioning of the cardiovascular system. The results of the research allow to make a conclusion that particular geological and geophysical features have their impact on different contours of the control of the cardiovascular system of a human.

Keywords: active geological faults, cardiovascular system, human heart rate variability.