

Таруса, 07-09 мая 2010 г.

Рехтина А.Г.¹, Зенченко Т.А.^{2,3},
Поскотинова Л.В.⁴, Заславская Р.М.¹,
Бреус Т.К.²

Совпадение частотных диапазонов
геомагнитных пульсаций PсЗ
и колебаний микроциркуляторного
русла, чувствительных к действию
геомагнитной активности,
на примере результатов
мониторинга здоровых волонтеров

¹ *Городская клиническая больница №60, г. Москва*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино,
Московской области*

⁴ *Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН, г. Архангельск*

Метод измерения

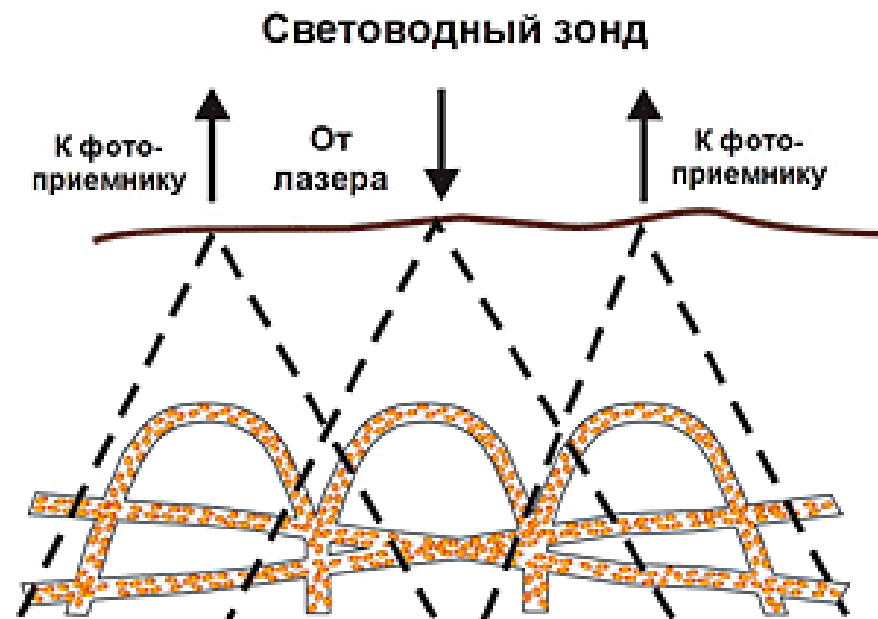


Одноканальный анализатор
лазерный микроциркуляции
крови
компьютеризированный
ЛАКК-02

Исследование проводится **лазерным анализатором микроциркуляции крови компьютеризированным «ЛАКК – 02»** научно – производственного предприятия «Лазма» (www.lazma.ru) методом **лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ)**.

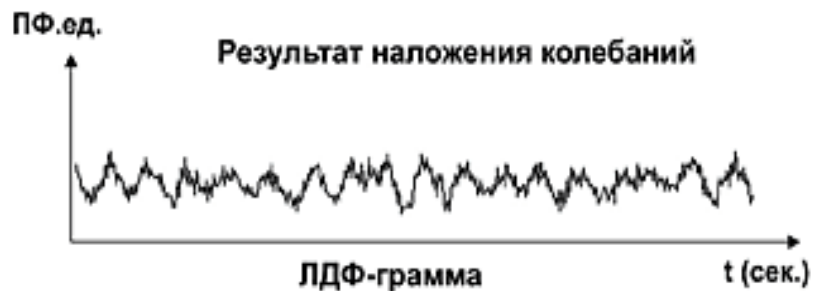
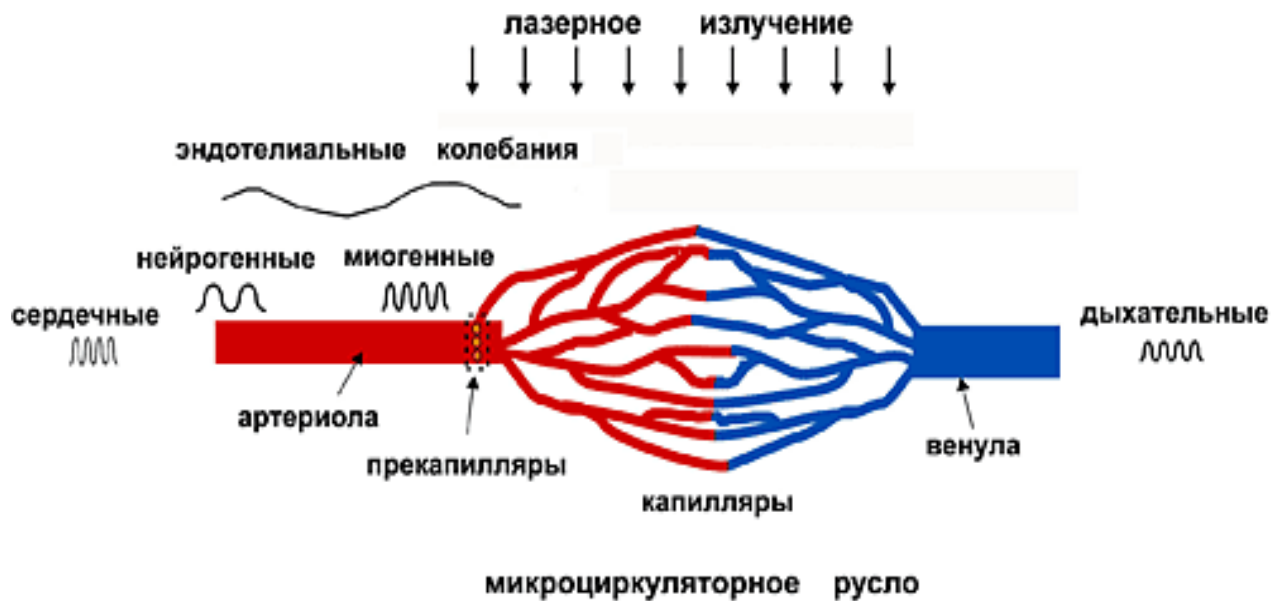
Тестируемая область – ладонная поверхность III пальца левой кисти.

- Метод основан на зондировании ткани объемом 1 мм^3 на толщину $0.5\text{-}2 \text{ мм}$ гелий-неоновым лазером длиной волны 0.638 мкм низкой интенсивности, не вызывающей стимуляцию крови.
- В 1 мм^3 содержится 200 микрососудов и 35 тысяч эритроцитов.
- Обработка отраженного от ткани сигнала основана на выделении доплеровского сдвига частоты, образующегося при соприкосновении с движущимися эритроцитами.
- Таким образом, обеспечивается регистрация потока крови в микроциркуляторном русле (флоуметрия). На выходе формируется сигнал – показатель микроциркуляции, амплитуда которого пропорциональна скорости движения эритроцитов и количеству эритроцитов.



Особенность кожного кровотока – петли капилляров ориентированы к поверхности дермы преимущественно перпендикулярно, поэтому ЛДФ-сигнал определяется более крупными сосудами.

Таким образом, данный метод наиболее чувствителен к динамике перфузии тканей кровью.



Эндотелиальная
активность
(0.095-0.02 Гц)

Нейрогенная
активность
(0,02 – 0,06 Гц);

Миогенная
активность –
(0,06 – 0,2 Гц);

Дыхательные
ритмы –
(диапазоны
частот 0,2 - 0,6
Гц);

Сердечные ритмы
– (диапазоны
частот 0,6 – 1,6
Гц).

Распределение колебаний кровотока, зарегистрированных в ЛДФ-грамме, производится автоматически методом вейвлет-анализа. Вычисляются следующие показатели:

- **среднее значение показателя микроциркуляции ПМ**
- **среднеквадратическое отклонение σ ,**
- **максимальные амплитуды колебаний A** в нескольких диапазонах частот, что позволяет диагностировать текущую активность различных механизмов сосудистой регуляции:

	Диапазоны частот колебаний кровотока, Гц	Периоды колебаний кровотока, с	Диагностическое значение частотных диапазонов
Аэ	0.01 – 0.02	50-100	эндотелиальные колебания
Ан	0.02 – 0.06	15-50	нейрогенная активность
Ам	0.06 – 0.2	5-15	миогенная активность
Ад	0.6 – 1.6	0.6-1.5	дыхательные ритмы
Ас	0.6 – 1.6	0.6-1.5	сердечные ритмы



Цель работы

На основании результатов
длительного мониторинга показателей
микроциркуляции
у здоровых волонтеров сравнить
степень чувствительности различных
показателей ЛДФ-граммы и
артериального давления
к вариациям ГМА.

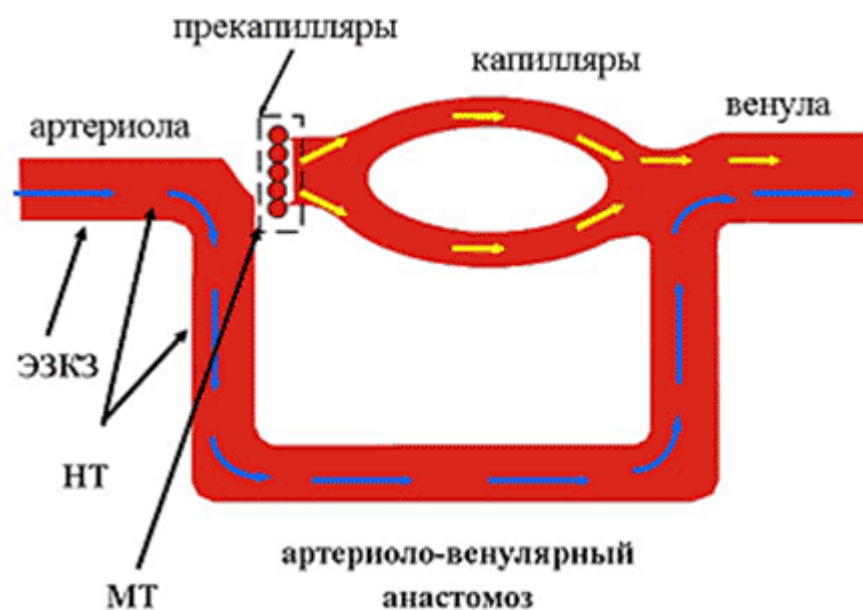



Материалы

- В измерениях участвовали **9 практически здоровых волонтеров** (семь женщин (возраст 40 ± 6) и двое мужчин (42 и 52 года)).
- Измерения проводили в течение трех лет (**2007-2009 гг.**), по рабочим дням, однократно утром, в районе 10-11 часов местного времени.
- Тестируемая область – ладонная поверхность III пальца левой кисти, время одного измерения – 10 минут, время адаптации перед началом измерений – 15 мин. Регистрацию комнатной температуры производили бытовым термометром.
- Массивы измерений составляют **от 100 до 350 значений** для разных волонтеров, поэтому полученные выводы о наличии и характере корреляций показателей микроциркуляции с уровнем ГМА имеют высокую статистическую достоверность.

Линейная скорость движения эритроцитов непосредственно в капиллярах может изменяться по-разному в зависимости от изменения их поперечного сечения, а также соотношения величин артериального давления в пре- и посткапиллярных отделах.

При расширении сосудов и увеличении притока крови в микроциркуляторное русло (гиперперфузия) происходит раскрытие шунтов для сброса избытка эритроцитов, при этом в капиллярном отделе кровотока может снижаться. Поэтому в условиях наблюдаемой нами гиперперфузии тканей и некоторого снижения нейрогенного и миогенного компонентов тонуса сосудов (фактора увеличения поперечного сечения сосуда) может наблюдаться снижение линейной скорости движения форменных элементов крови в микроциркуляторном русле.





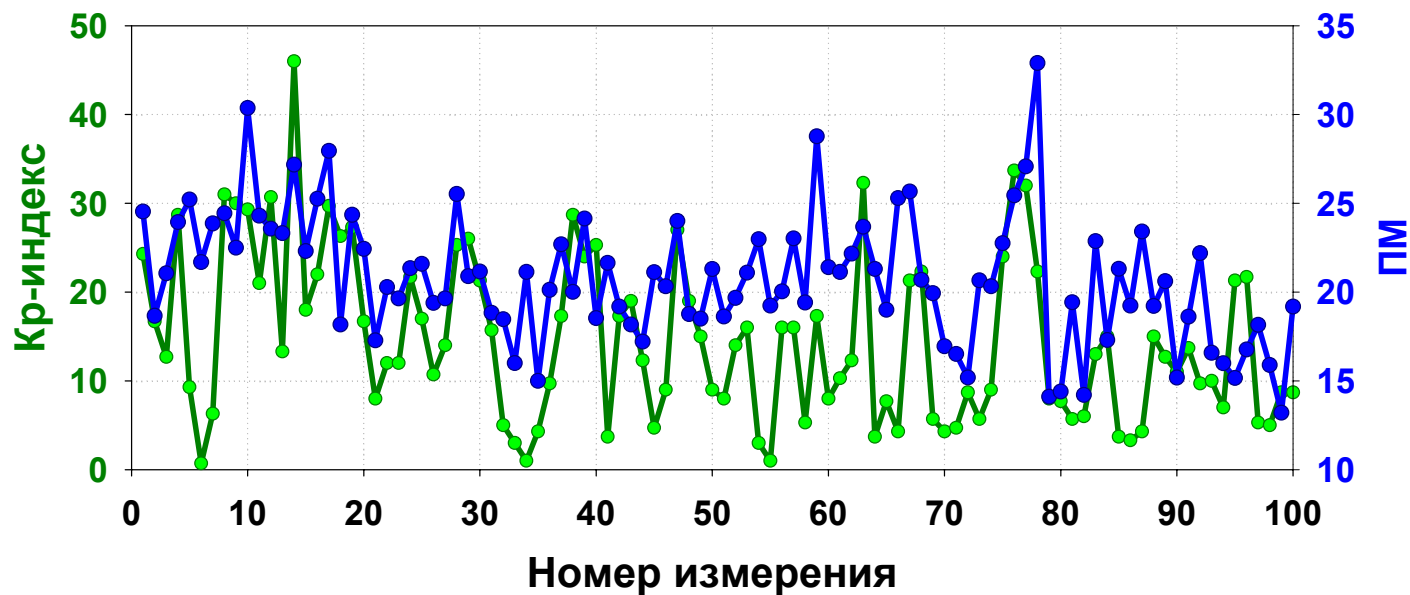
Обсуждение (сравнение с капиллярным кровотоком)

ПМ отражает состояние *объемной* скорости кровотока, в основном, в крупных микрососудах субкапиллярного сплетения, а на капилляры кожи приходится не более 10% кровотока.

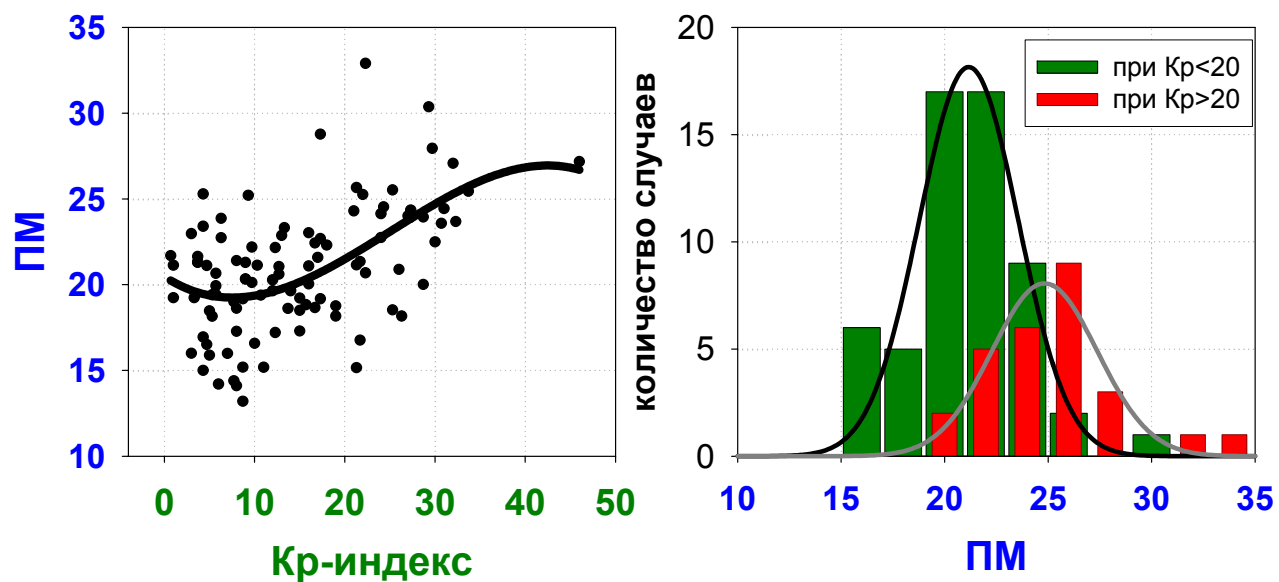
В работах Ю.И.Гурфинкеля сообщалось, что во время магнитных бурь линейная скорость кровотока в капиллярах достоверно снижается.

Этот вывод не противоречит полученным нами результатам, поскольку показатели метода ЛДФ и метода компьютерной микрокапилляроскопии отражают состояние различных отделов микроциркуляторного русла.

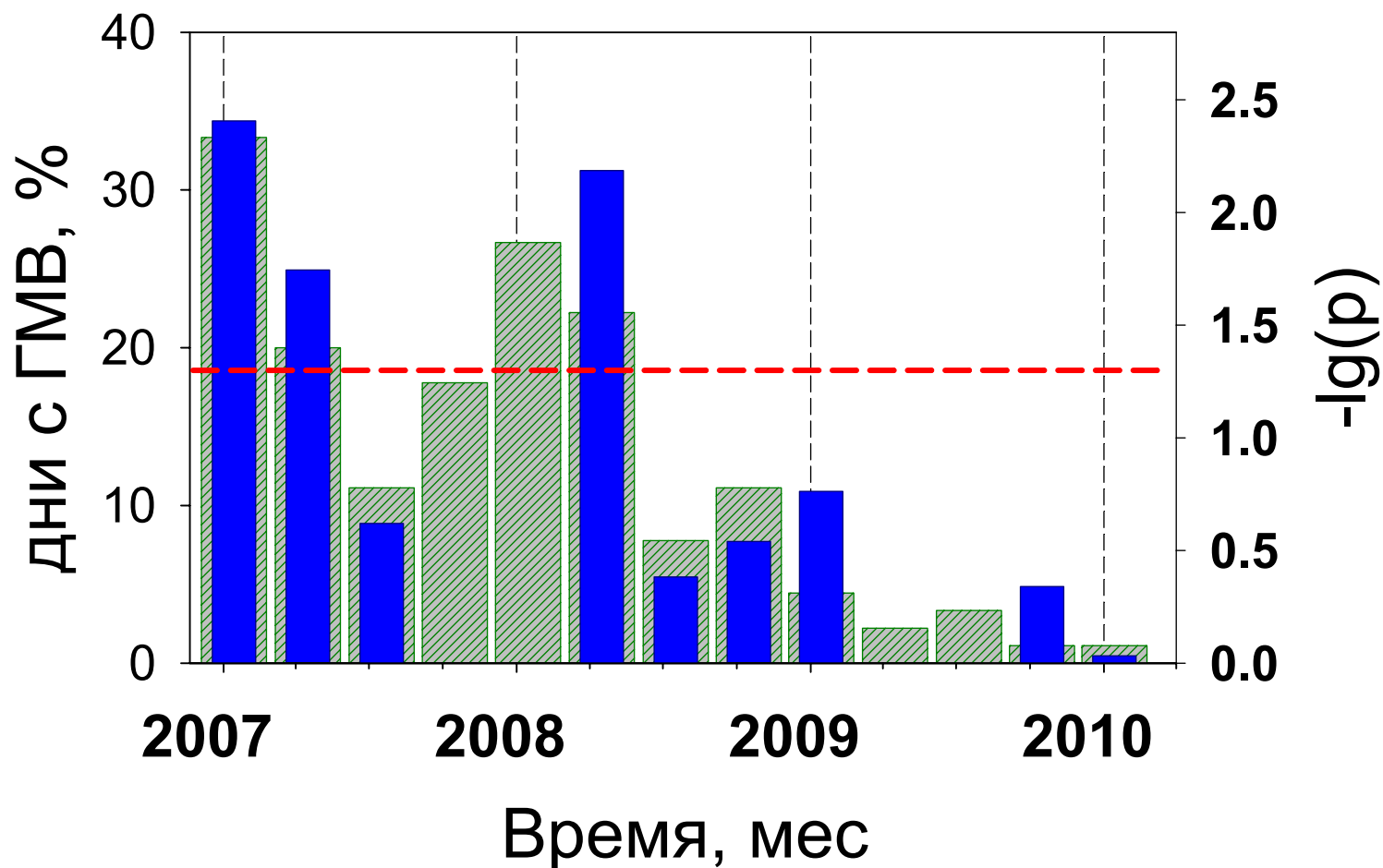
Иллюстрация типичной зависимости ПМ от ГМА



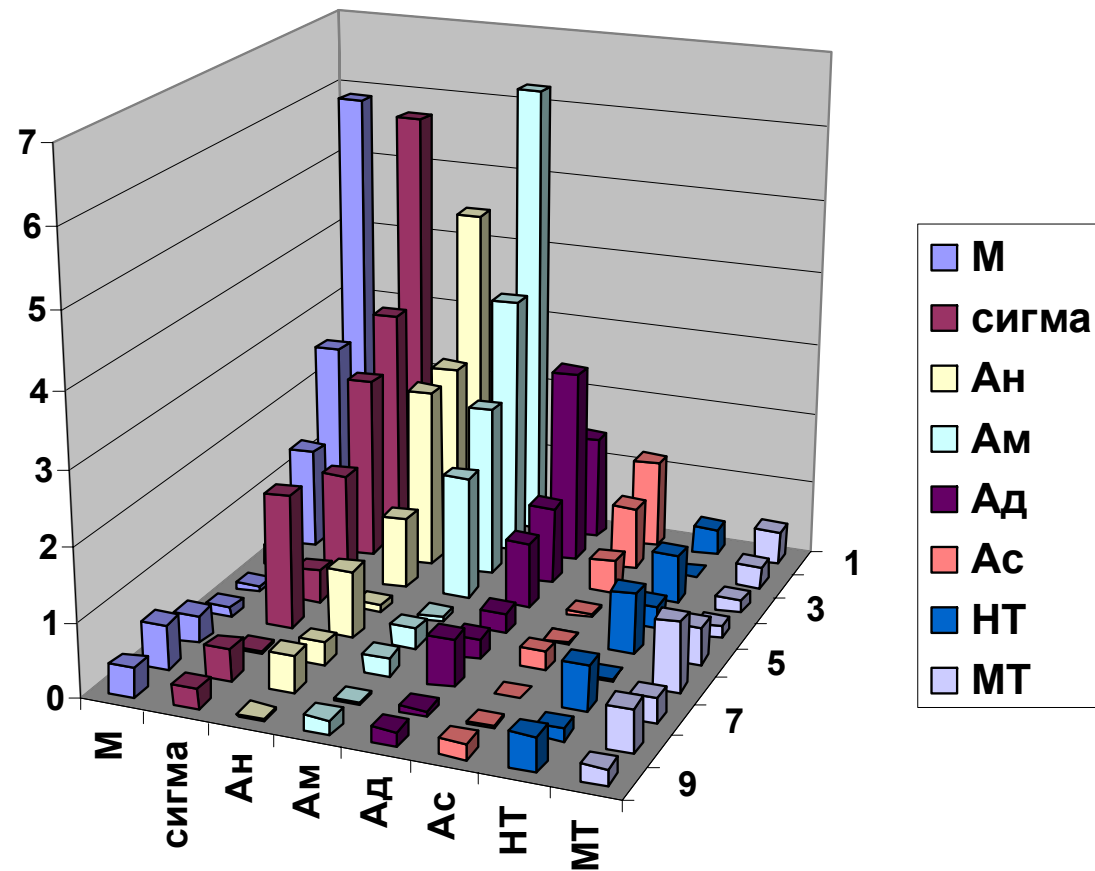
Динамика синхронных ежедневных значений Кр-индекса и ПМ на протяжении зимы и весны 2007 г.



Динамика степени зависимости ПМ от среднего уровня ГМА



Связь различных ЛДФ-показателей с Кр-индексом





Обсуждение

- При росте уровня ГМА у половины волонтеров достоверно возрастает перфузия тканей (показатель ПМ), а также вариабельность кровотока (σ) и амплитуды колебаний A_n и A_m .
- В то же время соответствующие показатели капиллярного тонуса $HT = \sigma / A_n$ и $MT = \sigma / A_m$ показывают только незначительную тенденцию к снижению, но не зависят достоверно от ГМА, что закономерно вытекает из прямой корреляции с Кр-индексом как числителя (σ), так и знаменателя (A) данных показателей.



Обсуждение

Обнаружено разделение показателей микроциркуляции на чувствительные к ГМА (ПМ, σ , Ан, Ам) и нечувствительные (Ас, МТ, НТ). Т.о., реагируют показатели, отражающие статус активных компонент управления состоянием микроциркуляторного русла.

Показатели Ас и Ад отражают преимущественно внекапиллярный характер распределения давления в более крупных сосудах (пульсовая волна затухает по мере приближения к капиллярам). Поэтому пульсовые и дыхательные осцилляции носят *пассивный* характер, а их основной источник (сердце) расположен на значительном удалении от места измерения.

В то же время нейрогенный и миогенный механизмы являются *активно генерируемыми*, и их функционирование управляется активностью ионных каналов микроциркуляторного русла.

Поэтому причиной обнаруженной нами чувствительности к ГМА именно показателей Ам и Ан может быть то обстоятельство, что для данных механизмов вероятная мишень воздействия (ионные каналы, управляющие миогенными и нейрогенными колебаниями) пространственно не разделена с реагирующей системой, и ее реакция не успевает зашумляться различными посторонними факторами.


Геомагнитные пульсации

Геомагнитные пульсации представляют собой короткопериодные колебания геомагнитного поля и характеризуются квазипериодической структурой, занимая диапазон частот от тысячных долей герца до нескольких герц.

По физической природе геомагнитные пульсации это гидромагнитные волны, возбуждаемые в магнитосфере Земли и в солнечном ветре.

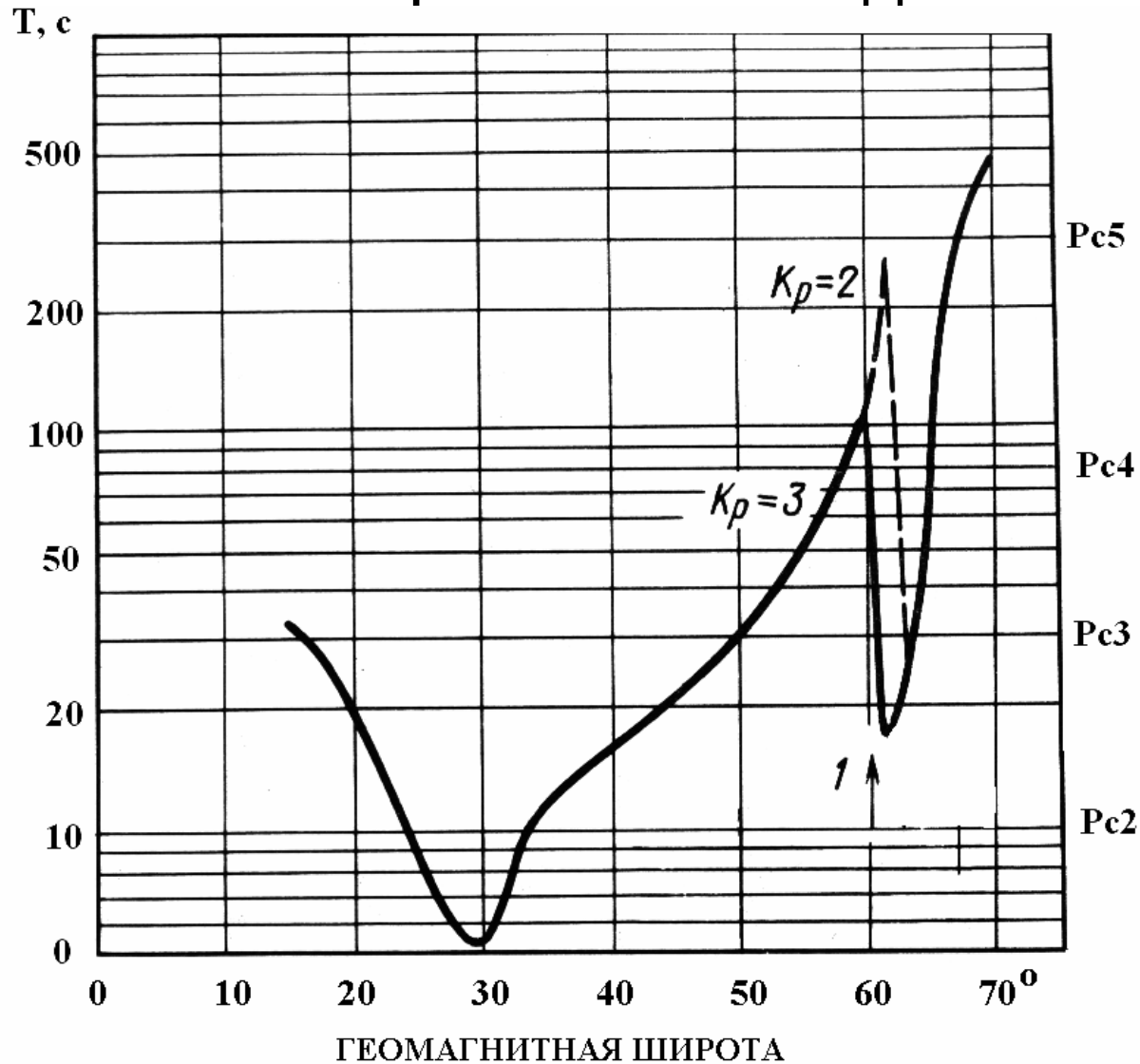
Верхняя частота пульсаций определяется гирочастотой протонов в магнитосфере, на земной поверхности это соответствует частотному диапазону порядка 3-5 Гц.

Название	Частоты, Гц	Периоды, с
Pc1	0.2 5	0.2 5
Pc2	0.1 02	5 10
Pc3	0.02 0.1	10 5
Pc4	0.007- 002	45 50
Pc5	0.002- 0.007	150 600

- 
- Геомагнитные пульсации диапазона Pc3 являются самыми распространенными видами колебаний, регистрируемых на земной поверхности. Возбуждение этих видов геомагнитных пульсаций наблюдается от приэкваториальных областей до полярной шапки, при этом амплитуда колебаний возрастает с ростом широты точки наблюдения. Так, амплитуда самых распространенных Pc3 колебаний с периодом порядка 20-30 с в средних широтах составляет десятые доли нТл, а в высоких – единицы и первые десятки нТл.
 - Возбуждение пульсаций Pc4 характерно для магнитоспокойных условий [Большакова и др.], а Pc2 и Pc3 – для более возмущенных.
 - С ростом магнитной активности период колебаний, регистрируемых в данной точке, уменьшается (рис.5) и попадает в диапазон Pc2 при $K_p > 5$ и в диапазон Pc4 при $K_p < 2$.

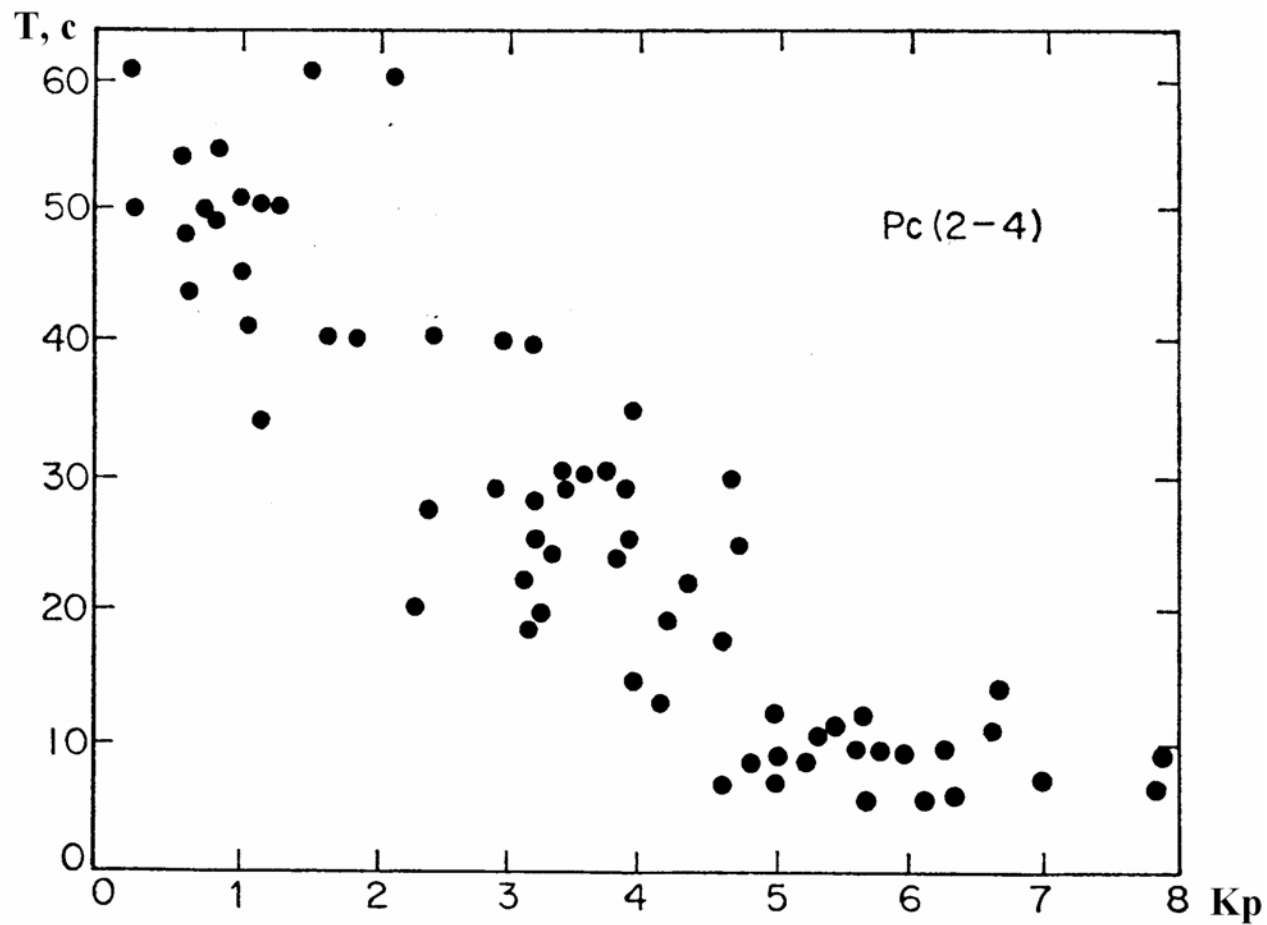


Нишида, «Электромагнитный диагноз магнитосферы»

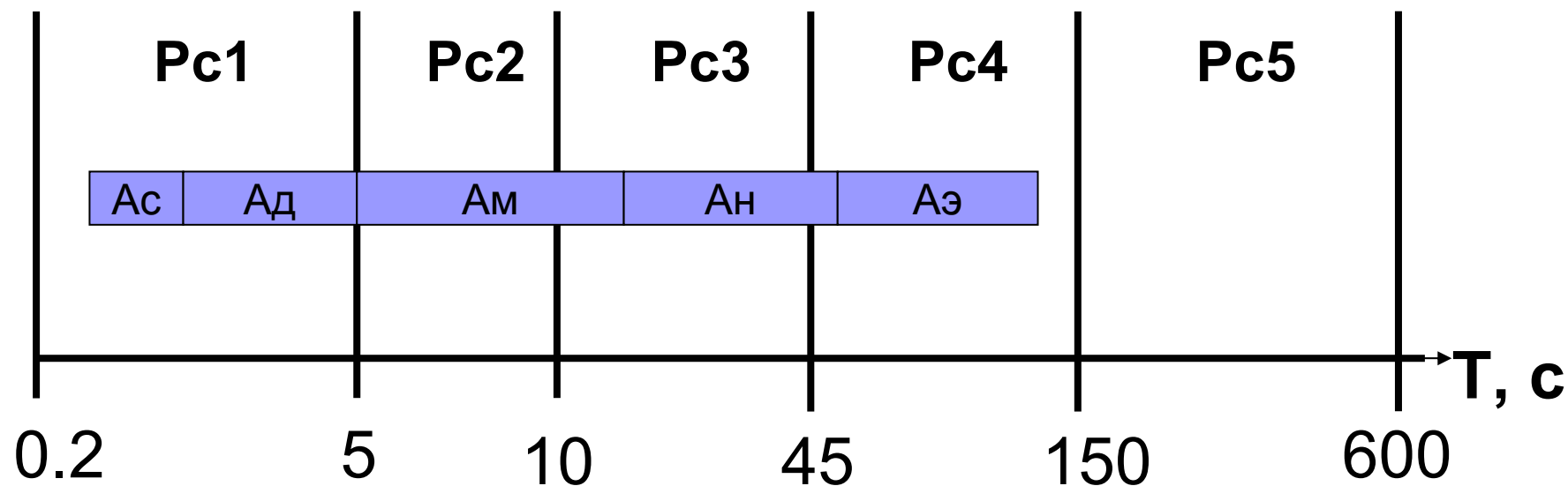


Вычисленный период собственных тороидальных колебаний магнитосферы в зависимости от широты (при спокойных геомагнитных условиях ($K_p=3$))

Пример уменьшения периодов геомагнитных пульсаций Pc2-4 (обс.Борок) с ростом магнитной активности (Клейменова)



Соотношение частотных диапазонов Pc-пульсаций и показателей ЛДФ-граммы





Возможный механизм действия

Можно предположить, что переменное магнитное поле с частотой порядка 0.06-0.2 Гц попадает в резонанс с собственными колебаниями стенок прекапилляров, модулируя активность ионных токов в каналах и проницаемость мембраны. Первичными мишенями при таком воздействии могут служить спины ядер водорода, т.к., согласно работам Леднева, электромагнитное поле с отношением параметров

$$\frac{B_{AC}}{f} = \frac{1.6 \cdot 10^{-6} T}{76 Hz} = 21 \cdot 10^{-3} \text{ Тл/Гц}$$

в несколько раз повышает вариабельность сердечного ритма здоровых волонтеров.

В условиях геомагнитного возмущения величина отношения амплитуды PсЗ-пульсаций к их частоте лежит в пределах 1-2 нТл/0.06-0.2 Гц=(5-32) мТл/Гц, что включает величину 21 мТл/Гц, полученную для отношения параметров поля, настроенного на спины ядер водорода.

В данном случае может работать механизм влияния по типу стохастического резонанса, при котором периодическое внешнее воздействие с амплитудой ниже амплитуды тепловых шумов может производить эффект, если частота воздействия близка к собственной частоте колебаний системы, что и имеет место. Такая гипотеза хорошо объясняет обнаруженные эффекты чувствительности к развитию геомагнитного возмущения как показателя общей вариабельности кровотока (σ), так и амплитуд колебаний в частотных диапазонах Ам и Ан.

Геомагнитные данные

- Для сопоставления с уровнем ГМА использовали суточные значения планетарного Кр-индекса (http://www.wdcb.rssi.ru/stp/data/geomagni.ind/kp_ap/),
- ежедневные данные о наличии или отсутствии Pс1-пульсаций – с сайта <http://www.sgo.fi/Data/Pulsation/pulArchive.php>

Finnish pulsation magnetometer chain

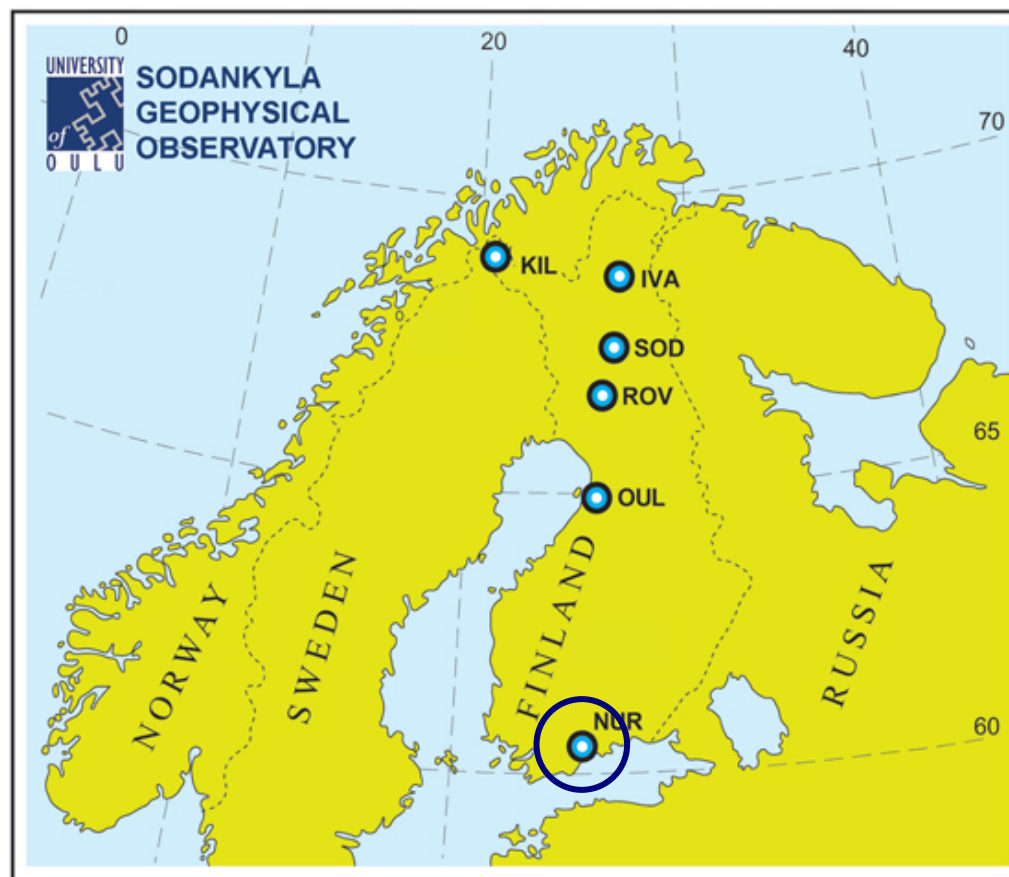
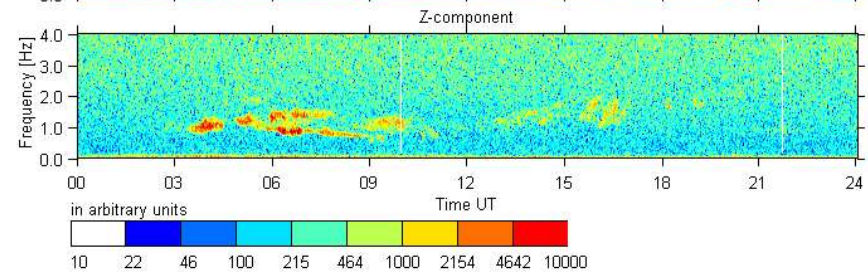
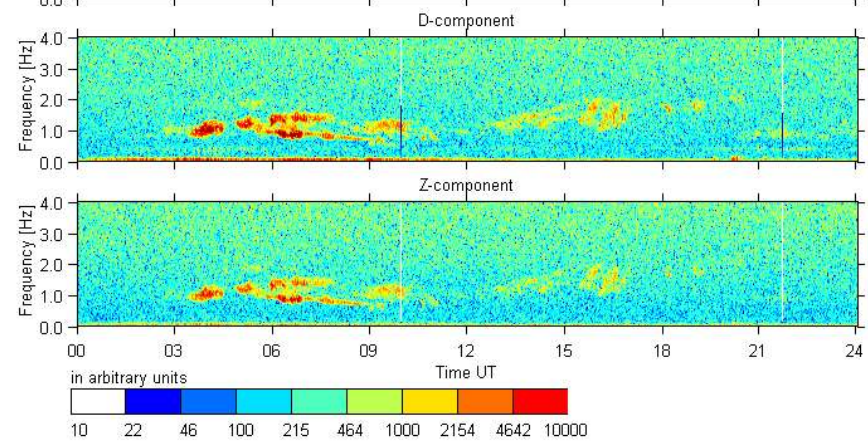
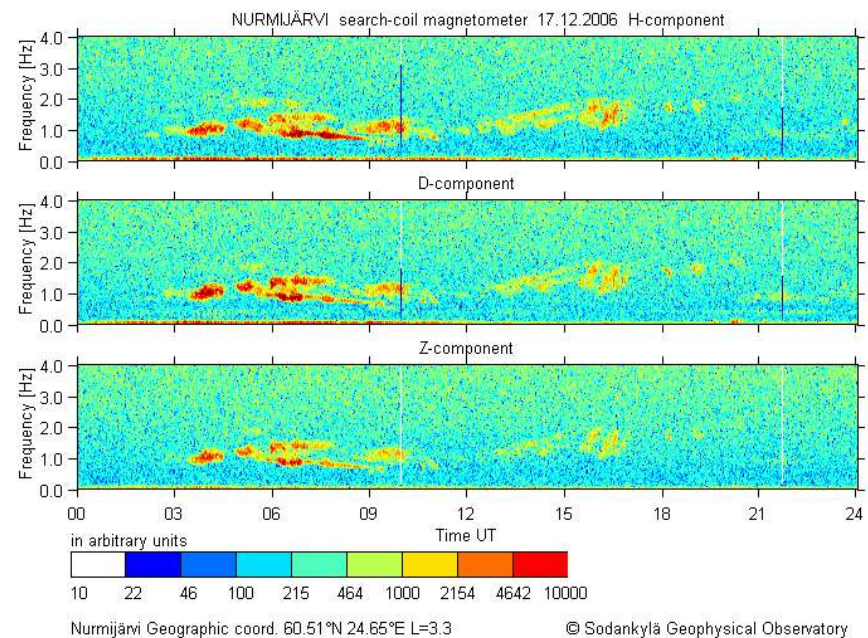
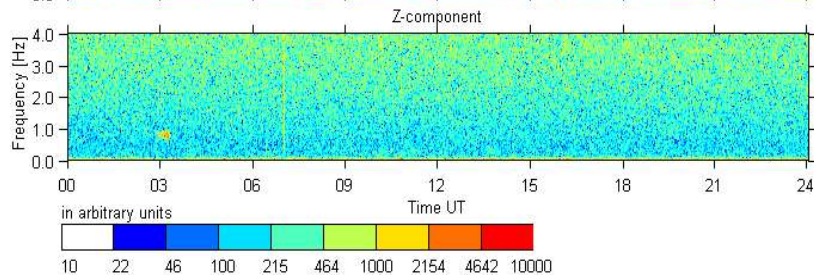
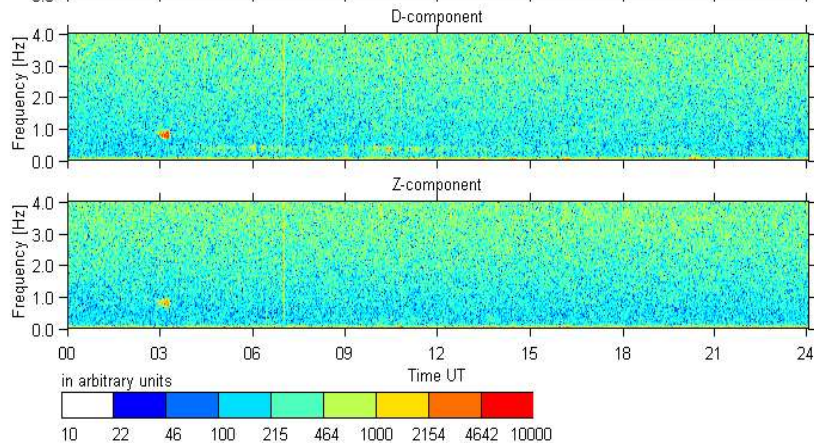
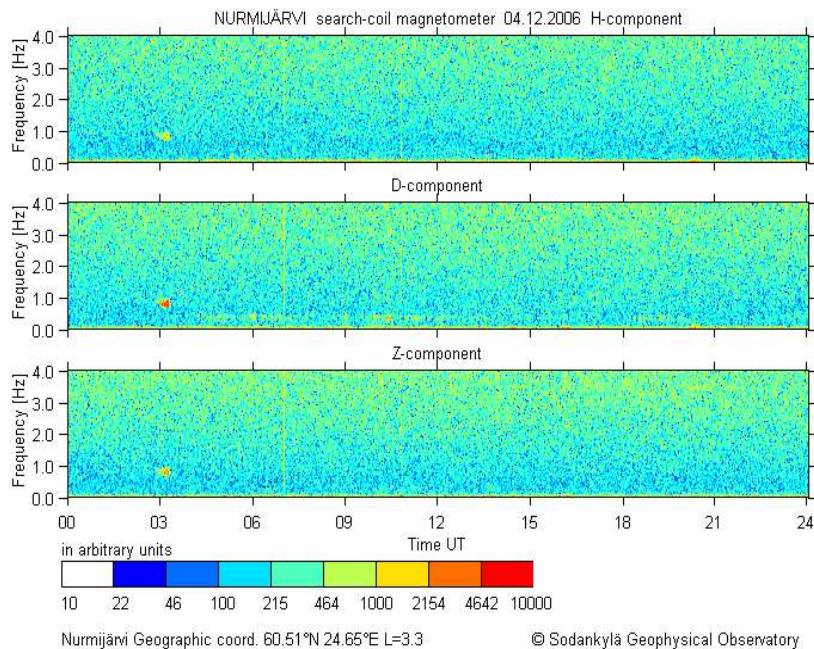


Иллюстрация примерной оценки наличия Pс1-пульсаций по данным Интернет-сайта геофизической обсерватории Nurmijärvi (Финляндия)





Обсуждение (Pc1-пульсации)

В работе Клейменовой с соавторами на основании результатов сравнительного анализа данных о вызовах скорой медицинской помощи по Москве с каталогом наблюдений Pc1 было показано, что около 70% дней с аномально большим числом вызовов по поводу инфаркта миокарда сопровождалось генерацией Pc1-пульсаций в магнитосфере. Возможная биологическая эффективность Pc1-пульсаций (амплитуда – десятые доли нанотесла, частота 1 Гц) обсуждалась в работе Леднева и др. на основании модели, в которой первичными мишенями действия крайне слабых электромагнитных полей низкой частоты являются магнитные моменты орбитального движения электронов. Экспонирование здоровых волонтеров в поле с такими характеристиками приводило к значительному снижению variability сердечного ритма и возрастанию стресс-реакции организма.



Обсуждение (Pc1-пульсации)

В нашей работе не обнаружено чувствительности показателя Ас у здоровых волонтеров ни к вариациям среднего уровня ГМА, ни к наличию Pc1-пульсаций.

Можно предложить, что показатель Ас, отражающий пассивный характер сердечных волн на значительном удалении от генератора (синусового узла сердца), менее чувствителен к вариациям ГМА, чем показатели, более тесно связанные с модуляциями проводящей системы сердца и магистральных сосудов, отражающие риск сосудистых катастроф (инфаркт миокарда, инсульт мозга, синдром внезапной смерти и др.). Следовательно, у здоровых лиц влияние данных колебаний на формирование процесса перфузии в микроциркуляторном русле может быть минимальным, поэтому прямое сравнение с результатами работы Бреус и Клейменовой в данном случае неправомерно.