

Таруса, 07-09 мая 2010 г.

Рехтина А.Г.<sup>1</sup>, Зенченко Т.А.<sup>2,3</sup>,  
Поскотинова Л.В.<sup>4</sup>, Заславская Р.М.<sup>1</sup>,  
Бреус Т.К.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> *Городская клиническая больница №60, г. Москва*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН*

<sup>3</sup> *Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино,  
Московской области*

<sup>4</sup> *Институт физиологии природных адаптаций УрО РАН, г. Архангельск*

# Метод измерения

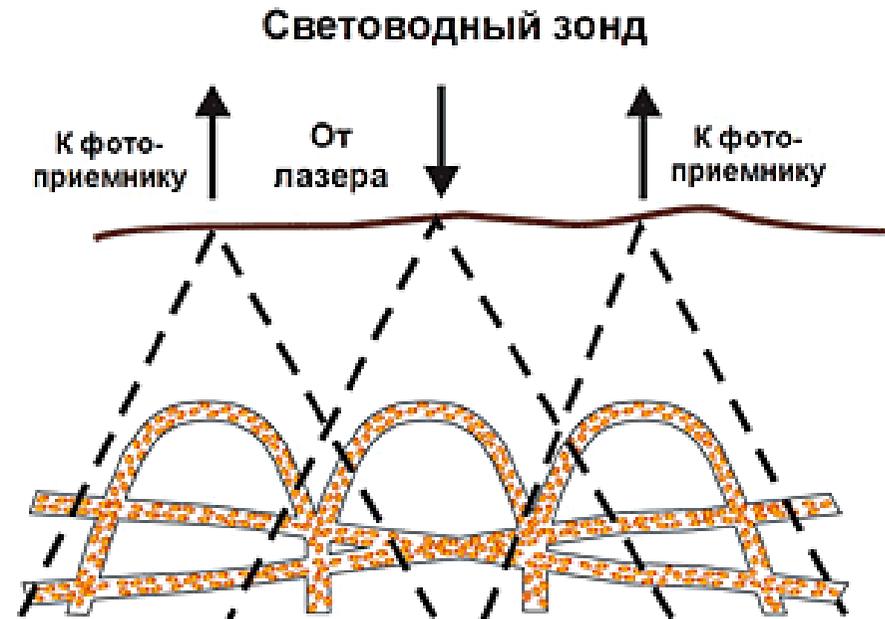


Одноканальный анализатор  
лазерный микроциркуляции  
крови  
компьютеризированный  
ЛАКК-02

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

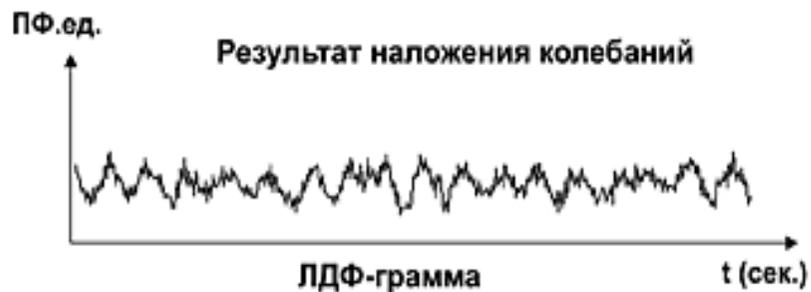
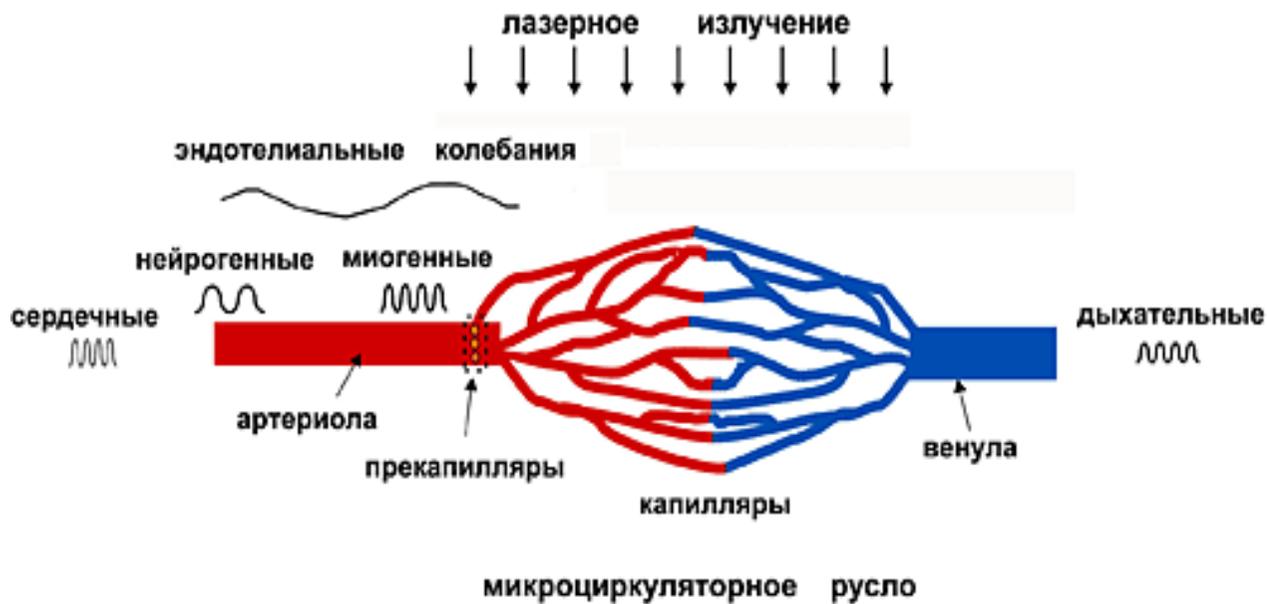
**Тестируемая область** – ладонная поверхность III пальца левой кисти.

- Метод основан на зондировании ткани объемом  $1 \text{ мм}^3$  на толщину  $0.5\text{-}2 \text{ мм}$  гелий-неоновым лазером длиной волны  $0.638 \text{ мкм}$  низкой интенсивности, не вызывающей стимуляцию крови.
- В  $1 \text{ мм}^3$  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  $\sigma$ ,**
- **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.

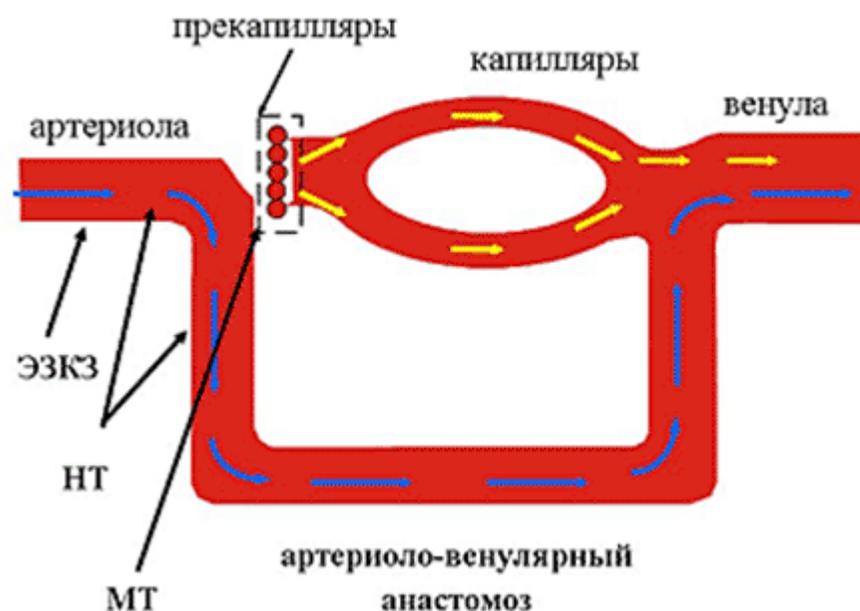


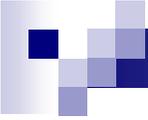
# Материалы

- В измерениях участвовали **9 практически здоровых волонтеров** (семь женщин (возраст  $40 \pm 6$ ) 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.





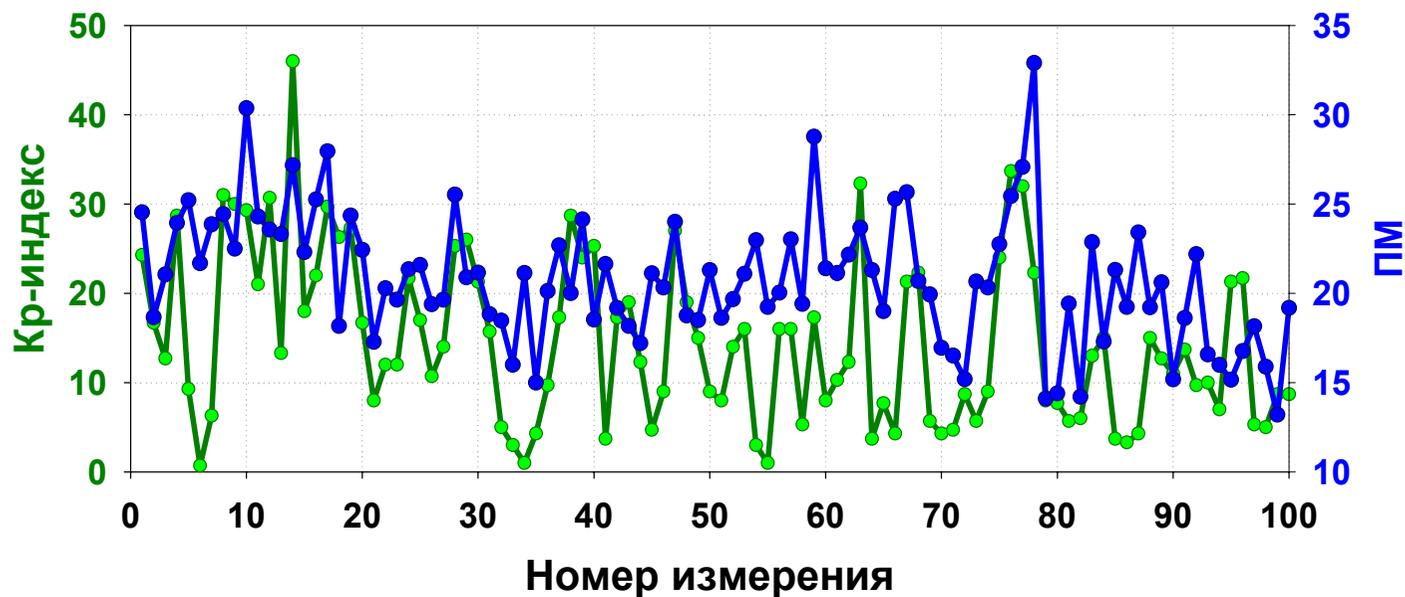
## Обсуждение (сравнение с капиллярным кровотоком)

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

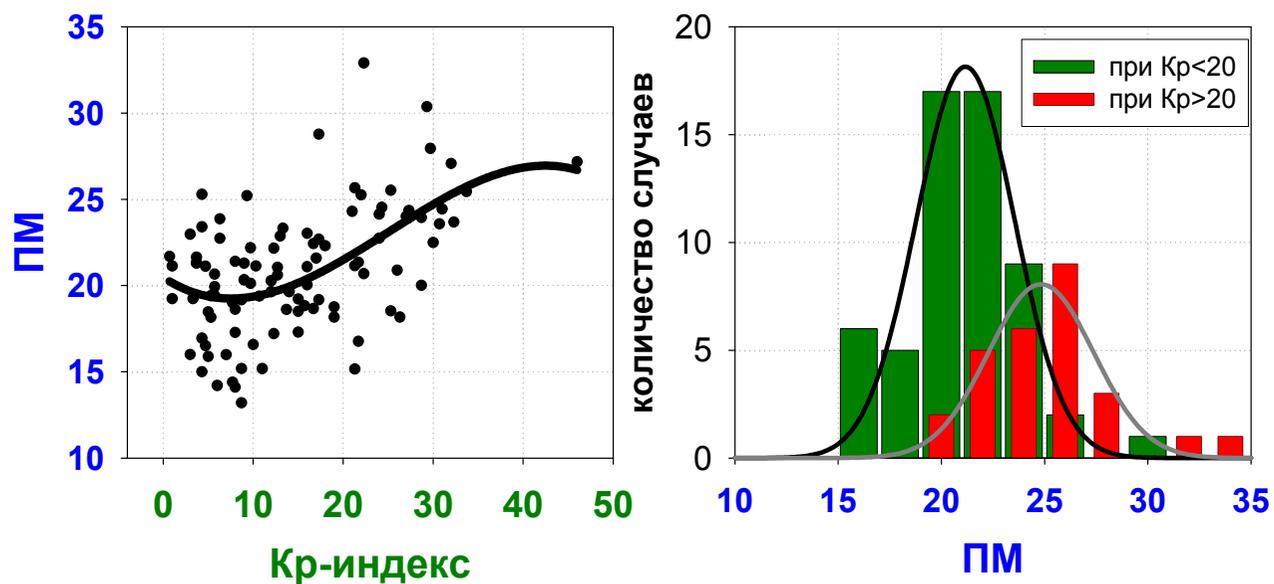
В работах Ю.И.Гурфинкеля сообщалось, что во время магнитных бурь линейная скорость кровотока в капиллярах достоверно снижается.

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

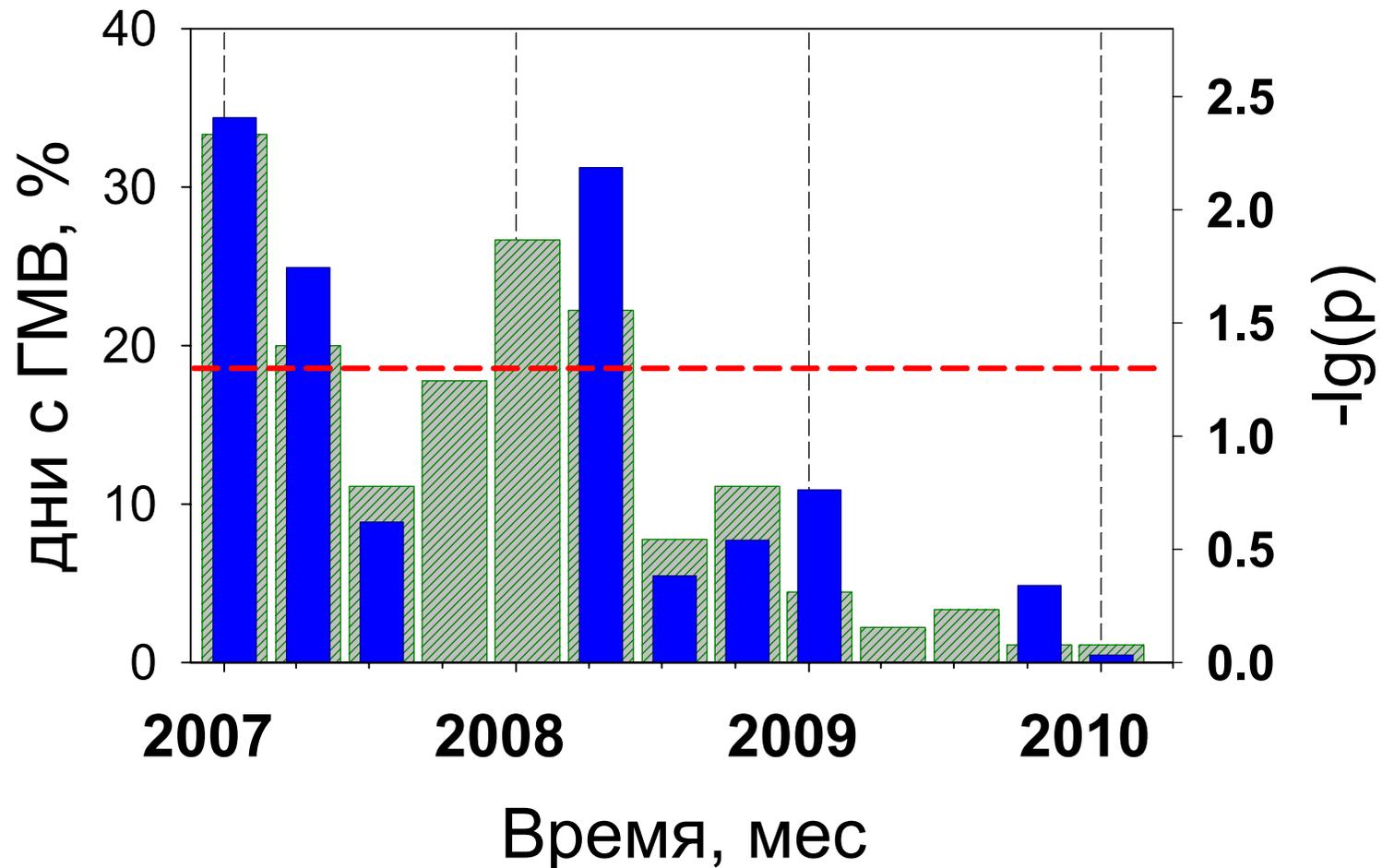
# Иллюстрация типичной зависимости ПМ от ГМА



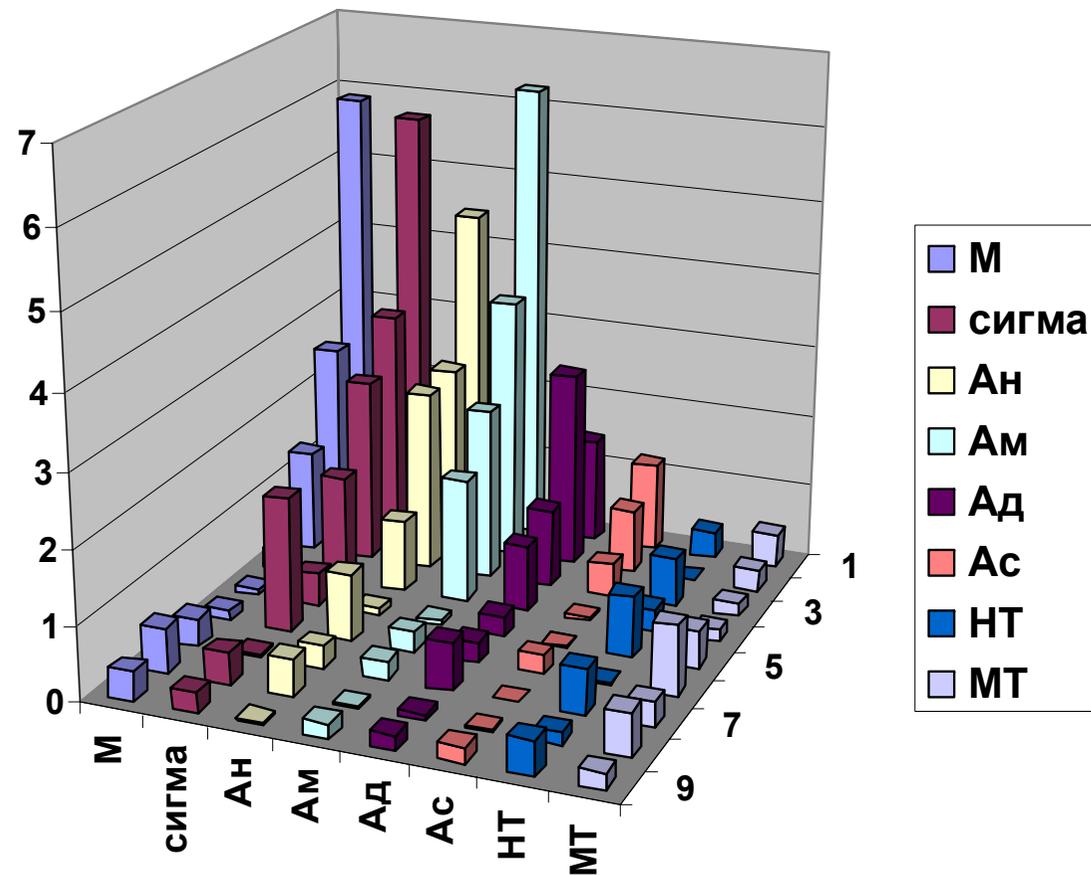
Динамика синхронных ежедневных значений Кр-индекса и ПМ на протяжении зимы и весны 2007 г.



# 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 ( $\sigma$ ) 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 ( $\sigma$ ), так и знаменателя ( $A$ ) данных показателей.



## Обсуждение

Обнаружено разделение показателей микроциркуляции на чувствительные к ГМА (ПМ,  $\sigma$ , 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

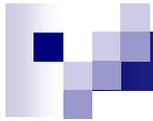
Геомагнитные пульсации представляют собой короткопериодные колебания геомагнитного поля и характеризуются квазипериодической структурой, занимая диапазон частот от тысячных долей герца до нескольких герц.

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

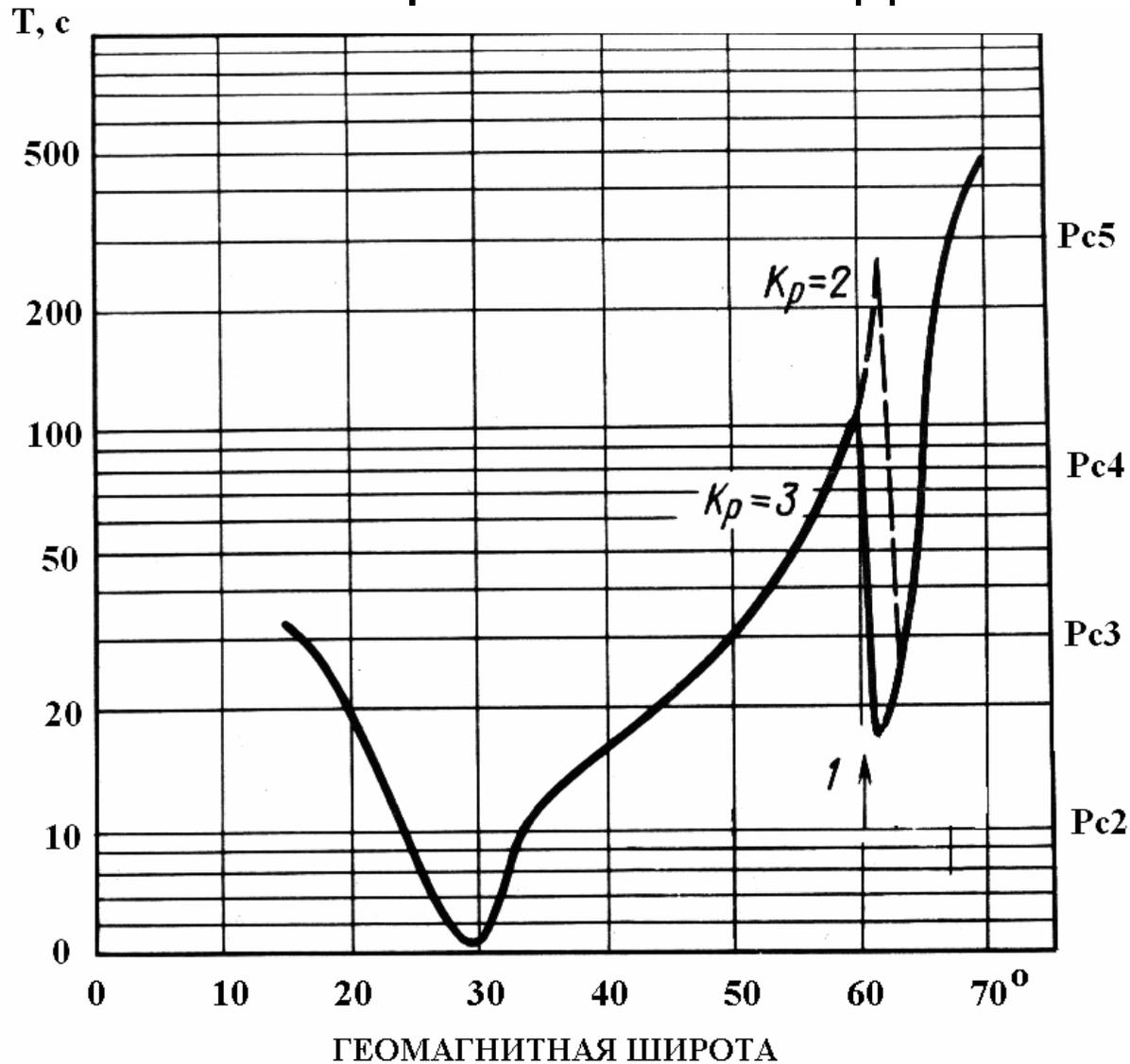
Верхняя частота пульсаций определяется гирочастотой протонов в магнитосфере, на земной поверхности это соответствует частотному диапазону порядка 3-5 Гц.

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  $K_p < 2$ .

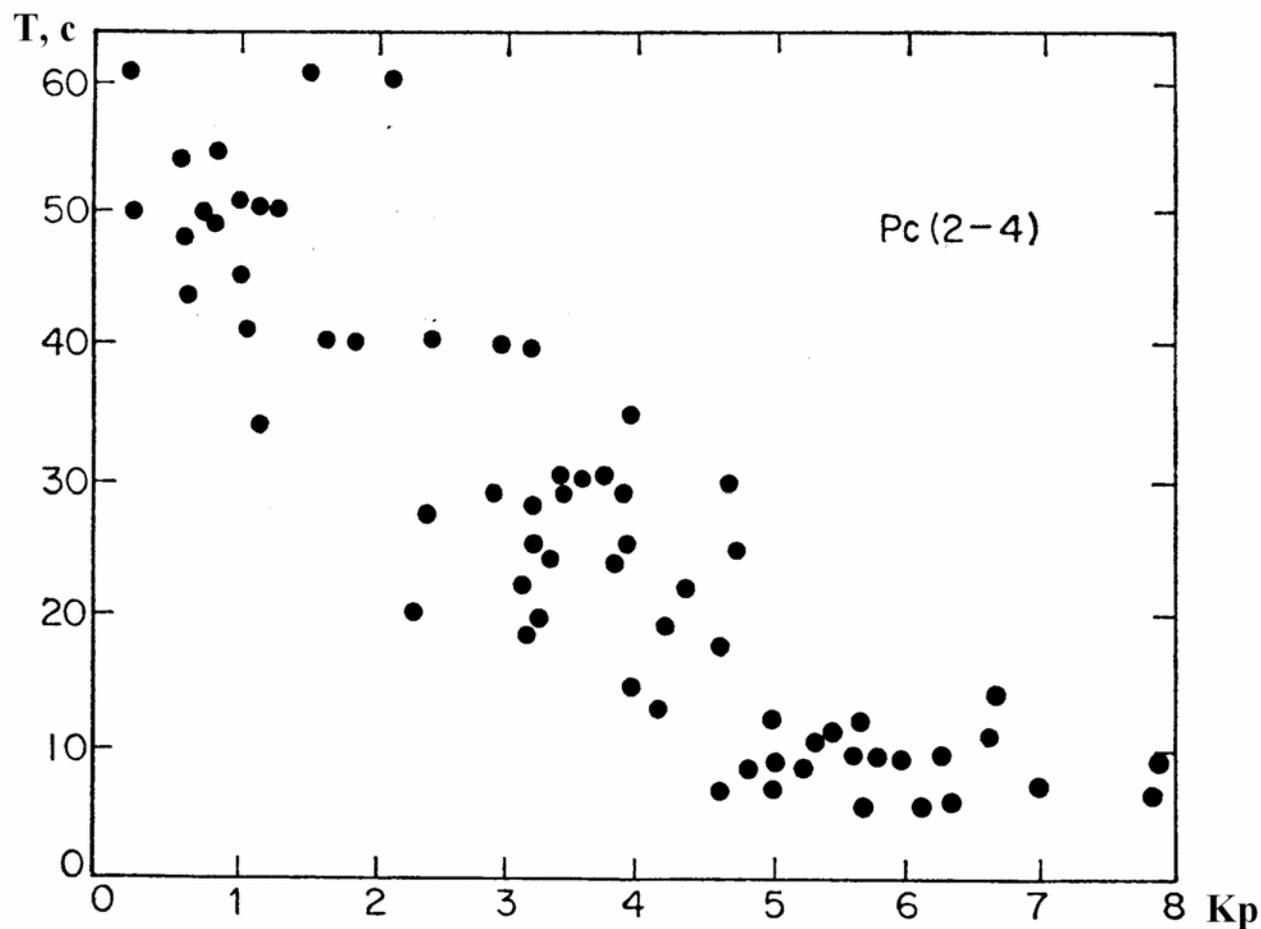


# Нишида, «Электромагнитный диагноз магнитосферы»

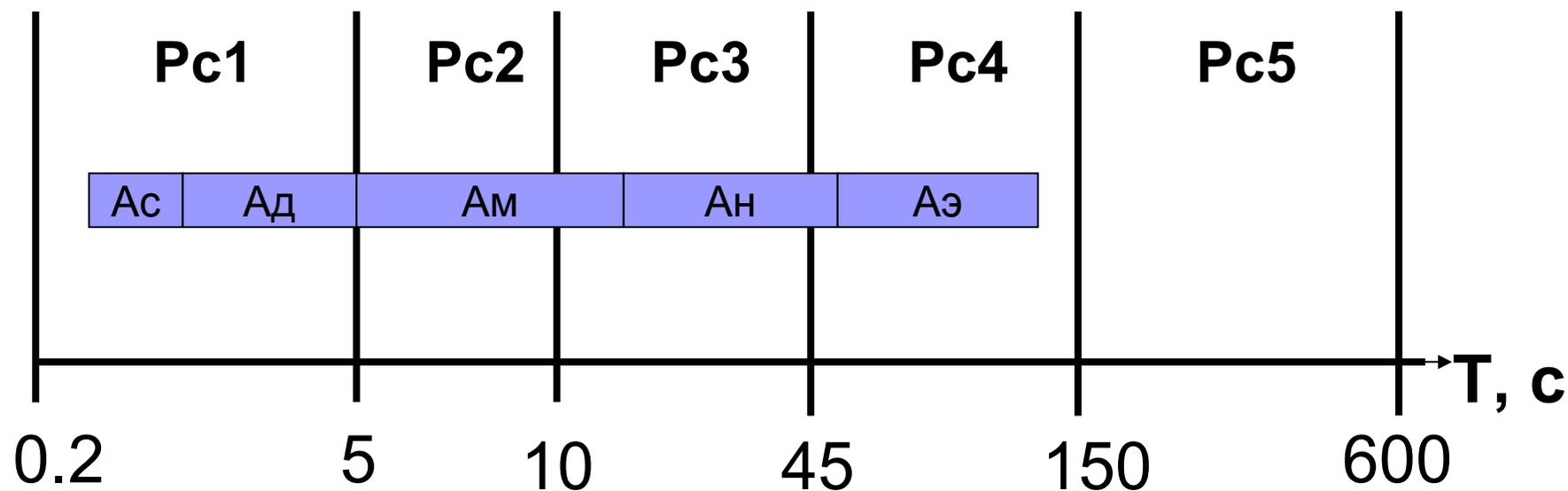


Вычисленный период собственных тороидальных колебаний магнитосферы в зависимости от широты (при спокойных геомагнитных условиях ( $K_p=3$ ))

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.

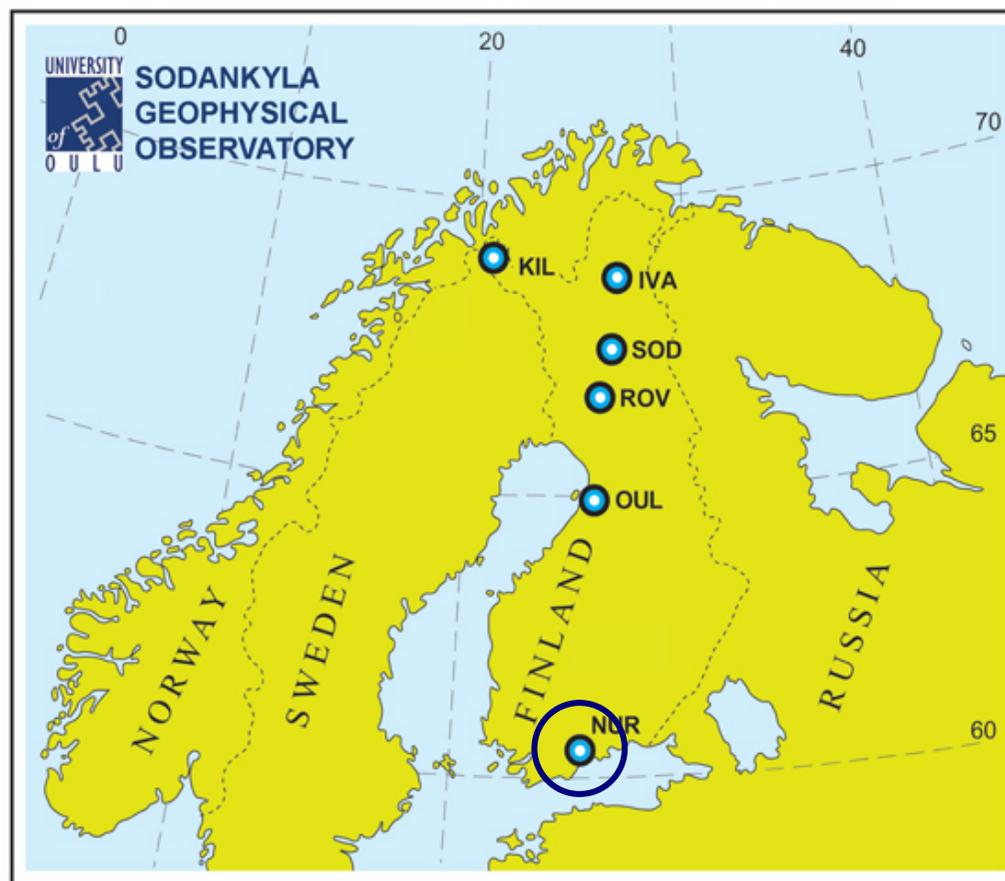
В условиях геомагнитного возмущения величина отношения амплитуды PсЗ-пульсаций к их частоте лежит в пределах 1-2 нТл/0.06-0.2 Гц=(5-32) мТл/Гц, что включает величину 21 мТл/Гц, полученную для отношения параметров поля, настроенного на спины ядер водорода.

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 ( $\sigma$ ), так и амплитуд колебаний в частотных диапазонах Ам и Ан.

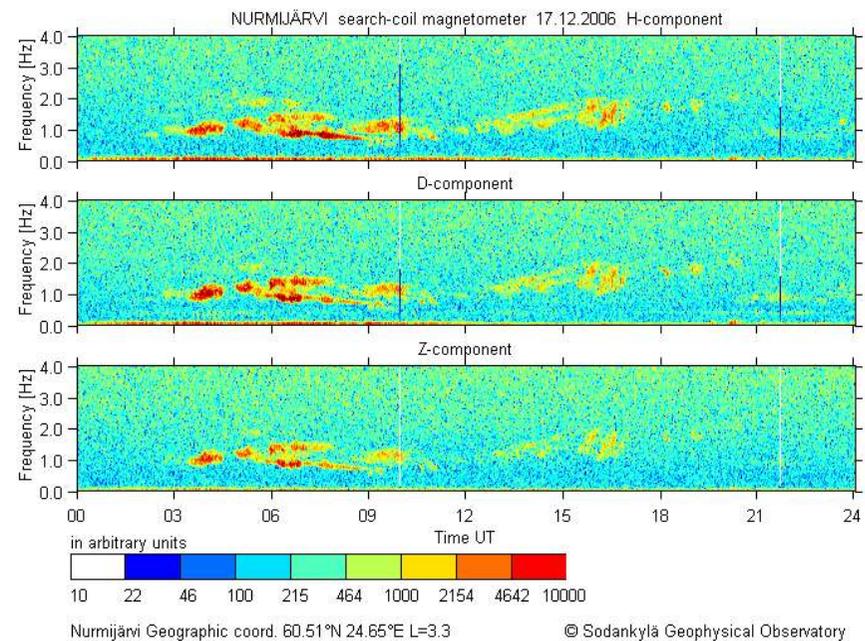
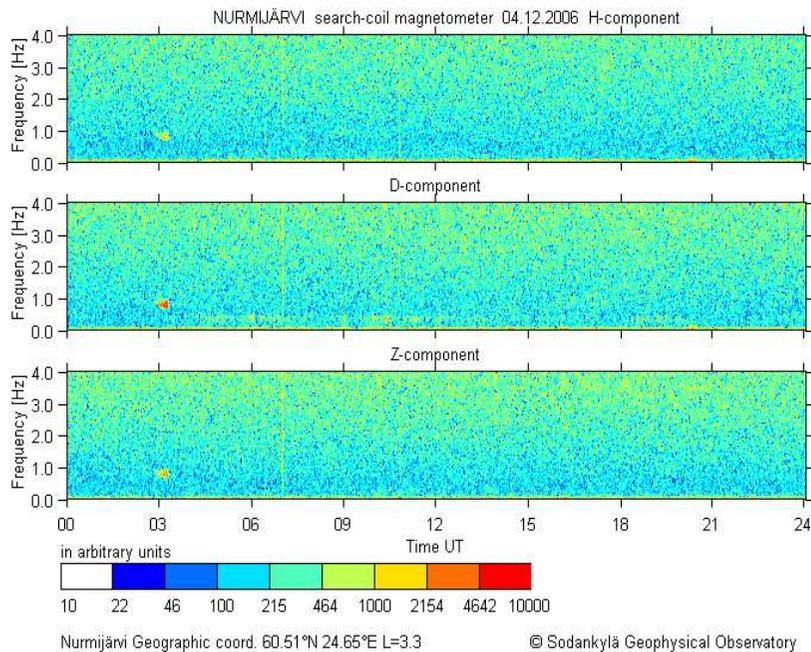
# Геомагнитные данные

- Для сопоставления с уровнем ГМА использовали суточные значения планетарного Кр-индекса ([http://www.wdcb.rssi.ru/stp/data/geomagni.ind/kp\\_ap/](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  $A_c$  у здоровых волонтеров ни к вариациям среднего уровня ГМА, ни к наличию Pc1-пульсаций.

Можно предложить, что показатель  $A_c$ , 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.