

УДК 577.4

## ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ТЕКУЧИЕ СВОЙСТВА КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

© 2013 г. Ю.Я. Варакин<sup>1</sup>, В.Г. Ионова<sup>1</sup>, Е.А. Сазанова<sup>2</sup>, Н.П. Сергеенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научный центр неврологии РАМН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Больница Российской академии наук, г. Москва; г. Троицк, Россия

<sup>3</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва; г. Троицк, Россия

Проверяется гипотеза, что одной из внутренних причин наблюдаемых биотропных эффектов в организме человека во время гелиогеофизических возмущений является повышение уровня катехоламинов и изменение агрегационных свойств крови. Обнаруженные эффекты являются статистически достоверными и указывают на вероятность прямых воздействий физических процессов во время возмущений на клетки крови. Обсуждаются возможные физические процессы, определяющие сдвиги в организме людей. Предполагается, что в начальный период бури одним из физических механизмов воздействия внешних слабых периодических сигналов на фоне шума может быть стохастический резонанс. Приведены данные, указывающие, что вторая и третья гармоники резонанса мозговых нервных структур действительно могут быть обусловлены первыми гармониками колебаний в альфвеновском ионосферном резонаторе, которые могут синхронизировать или десинхронизировать ритмы электромагнитных колебаний клеток крови. На фазе развития собственно геомагнитной бури обсуждается возможность прямого воздействия изменения электромагнитного поля на динамику процесса агрегации–деагрегации тромбоцитов и эритроцитов в потоке крови.

*Ключевые слова:* гелиогеофизические возмущения, геомагнитная буря, организм человека, катехоламины, реологические параметры крови.

PACS 91.62.Xy (Biosphere/atmosphere interactions)  
92.70.Qr (Solar variability impact)

### Введение

За последние десятилетия в ходе отечественных и зарубежных медицинских исследований накоплено много фактов, статистически достоверно указывающих на влияние флуктуаций физических полей в околоземном пространстве на биологические процессы [Комаров и др., 1994; Балуда и др., 1995; Ораевский и др., 2000; Варакин и др., 2004;

Ионова и др., 2004]. В периоды возмущений солнечного и магнитосферного происхождения, во время других природных и антропогенных воздействий на атмосферу происходят сдвиги в различных физиологических системах, резко обостряются многие заболевания (особенно сердечно-сосудистые и нервно-психические) вплоть до летальных исходов. В такие дни также снижается профессиональная надежность функционирования лиц, подверженных влиянию гелиогеофизических возмущений, особенно в системах и ситуациях экстремального риска.

В настоящей работе рассматривается изменение текучести и уровня катехоламинов крови на разных фазах гелиогеомагнитных возмущений. Текучесть крови, ее реологические свойства определяются совокупностью функционального состояния форменных элементов крови, таких как подвижность, деформируемость, агрегационная активность эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, а также вязкостью крови (концентрация белков и липидов) и ее осмолярностью (концентрация глюкозы). Ключевая роль в формировании реологических параметров крови принадлежит форменным элементам крови, прежде всего, эритроцитам, которые составляют 98 % общего объема форменных элементов крови [Балуда и др., 1995; Андреевко и др., 1997].

### Материалы и методы

В качестве показателей изменения гелиогеофизической активности использовались данные потока солнечного радиоизлучения  $F_{10.7}$ ; геомагнитные бури определялись по  $K$ -индексу, полученному в обсерватории Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), и по  $Dst$ -вариации,  $K = 3$  считалось началом бури. Конец определялся, когда  $K$ -индекс становился меньше 3. Для определения состояния ионосферной активности перед началом магнитных бурь использовались данные ионосферной станции вертикального зондирования ИЗМИРАН и рассчитывались ионосферные показатели возмущений; возмущенными считались периоды, когда относительные изменения критической частоты слоя F2 были  $|\delta f_0 F2| \geq 20\%$ . Изучались суточные геофизические и медицинские показатели. Если половина суток перед возмущением была возмущенной, то день считался возмущенным. Изменения свойств крови в различных гелиогеофизических условиях изучали по ретроспективным данным Научного центра (НЦ) неврологии РАМН (г. Москва).

Изучение гемореологических параметров проводилось у людей в возрасте 40–64 лет, отобранных при профилактическом осмотре жителей Тушинского р-на г. Москвы за период с октября 1984 г. по декабрь 1985 г., как в спокойные дни, так и в периоды гелиогеофизических возмущений. Группа здоровых лиц представлена 62 мужчинами, которые при обследовании не предъявляли жалоб и у которых не было выявлено цереброваскулярной патологии, повышенных цифр артериального давления (АД), а также признаков ишемической болезни сердца (ИБС). При обследовании использовалась стандартная карта, составленная в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Карта включала паспортную часть с указанием возраста, образования, профессии, наличия или отсутствия отягощенной наследственности в отношении сосудистых заболеваний (инсульт, инфаркт миокарда, артериальная гипертония у отца или матери). В карту вносили данные антропометрических измерений (рост, вес), результаты общего и неврологического исследования. Записывались показатели артериального давления по данным двух измерений. Отмечалось, принимал ли обследуемый пациент антигипертензивные препараты в течение последних двух недель.

Исследовалась пульсация каротид и определялось наличие шума на шее в проекции сонных артерий. Электрокардиограмма записывалась в 12 стандартных отведениях в покое на аппарате 6-НЕК 4 (Германия). Ультразвуковая доплерография проводилась на аппарате DUD 002 фирмы «Dalalaude Electronique» (Франция). Регистрировались результаты неврологического исследования.

Кровь брали из локтевой вены латексом. Анализы выполнялись сразу же после взятия крови. У всех обследованных лиц определяли вязкость цельной крови (ВК), гематокрит (ГТ), концентрацию фибриногена (ФГ), способность эритроцитов к агрегации (АЭ) и АДФ (аденозиндифосфатная кислота) – индуцируемую агрегацию тромбоцитов (АДФ-АТ). Определяли концентрацию катехоламинов плазмы крови – гормонов стресса: норадреналина (НА), адреналина (А), дофамина (ДА), у людей, относящихся к клинической норме (73 человек).

Вязкость крови измеряли капиллярным вискозиметром при  $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; агрегация эритроцитов определялась фотометрически на агрегометре фирмы «Chrono-Log» (США); агрегацию тромбоцитов также определяли на этом приборе, в качестве индуктора использовали растворы АДФ в конечной концентрации 1.2 мМ, концентрацию фибриногена определяли по [Рутберг, 1961].

Исследование катехоламинов проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрохимической детекцией [Ларский и др., 1985]. Общая выборка во всех экспериментах была одна и та же. Однако по разным причинам одни и те же люди не всегда регулярно участвовали в экспериментах. Но требования к состоянию здоровья испытуемых всегда были одни и те же; в этом смысле выборки абсолютно однородны.

По возрасту испытуемые распределялись следующим образом: 40–49 лет – 42 %, 50–59 лет – 48.4 % и 60–64 года – 9.6 %. Условия работы обследованных лиц не были связаны с профессиональной вредностью (химическое и токсическое производство, воздействие электромагнитных полей и радиоизлучений исключались). Испытания проводились группами в разные дни.

Полученные таким образом выборки характеристик крови были рассортированы по датам в зависимости от гелиогеофизической обстановки (спокойные дни, дни непосредственно перед возмущением, возмущенные дни и дни после бури); всего – 4 группы. Дальше анализировались параметры в каждой группе.

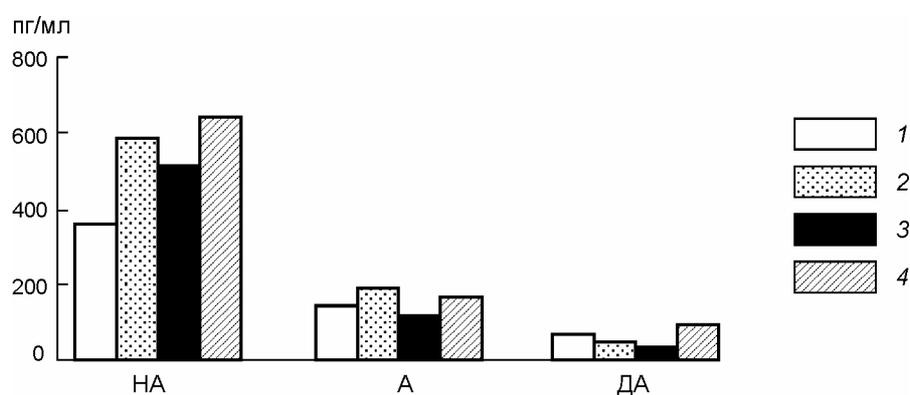
Также были использованы выборки регистра инсульта НЦ неврологии РАМН (1255 случаев, из них 590 мужчин и 665 женщин), проведенного среди населения Тушинского р-на г. Москвы за 1974–1975 гг. в различные периоды гелиогеофизической обстановки. Изучаемый период включал 730 дней (2 года по 365 дней). Эти выборки также проанализированы в зависимости от гелиогеофизических условий.

При математической обработке был использован критерий Крамера–Уэлча, достоверными считались различия при  $T_{0.05} > 1.96$ . Отметим, что большая часть исследуемых выборок обладает ненулевыми асимметрией и эксцессом, что может свидетельствовать об их ненормальности.

## Результаты исследований

Для ответа на вопрос о внутренней причине наблюдаемых при гелиогеофизических возмущениях функциональных сдвигов у практически здоровых людей обратимся к анализу показателей катехоламинов (КА) крови в различные периоды гелиогеофизических возмущений. Гормоны стресса – катехоламины – прямо или опосредовано влияют

на активность липаз, фосфолипаз, интенсивность перекисного окисления липидов, активацию свертывающей системы, повышение агрегации и развитие спазма в сосудах микроциркуляторного русла. Рассмотрение поведения средних показателей катехоламинов в крови показало, что у здоровых людей уровень норадреналина достоверно повышается уже за 2 дня до магнитной бури, остается повышенным в период бури и снова повышается на фазе восстановления бури (через 2 дня после бури). Аналогично ведет себя и уровень адреналина. В то же время концентрация дофамина за 2 дня до бури и в бурю падает, а через 2 дня после бури растет более чем в 2 раза (рис. 1). В табл. 1 приведены данные по изменению средних показателей катехоламинов в крови испытуемых и показатель Крамера–Уэлча в дни с разными геомагнитными условиями. Видно, что для большинства данных  $T_{0.05} > 1.96$ , что свидетельствует о различии выборок в спокойные и возмущенные дни.



**Рис. 1.** Динамика изменений средних уровней катехоламинов плазмы крови (пг/мл) в различные периоды гелиогеофизических возмущений

1 – спокойные условия; 2 – за 2 дня до бури; 3 – во время бури; 4 – через 2 дня после бури

**Таблица 1.** Изменение содержания катехоламинов в крови испытуемых и показателя Крамера–Уэлча в зависимости от уровня геомагнитной возмущенности

Показатель	Гелиогеофизические условия			
	Спокойные дни	Дни до бури	Буря	Дни после бури
<i>N</i>	30	24	28	21
<i>n</i>	18	22	28	16
<i>Норадреналин (НА)</i>				
<i>M</i>	380	609	556	538
<i>m</i>	35.6	33.4	48.5	44.3
<i>T</i>		4.58	3.04	2.81
<i>Адреналин (А)</i>				
<i>M</i>	226	163	164	147
<i>m</i>	7.4	15.2	15.6	11.9
<i>T</i>		3.95	3.66	5.94
<i>Дофамин (ДА)</i>				
<i>M</i>	42.7	20.6	16.8	92.0
<i>m</i>	15.6	12.2	9.8	20.8
<i>T</i>		1.07	1.39	1.98

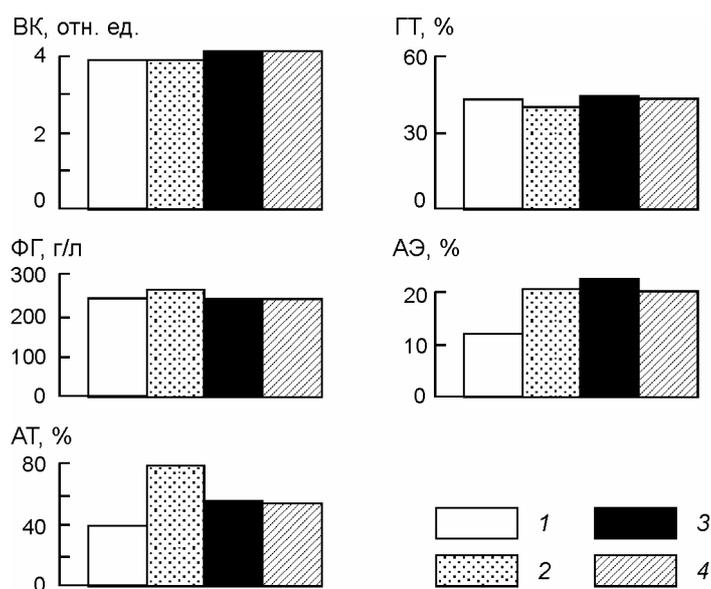
*Примечания.* *N* – число испытуемых; *n* – число дней; *M* – среднее значение показателя (пг/мл); *m* – стандартная ошибка; *T* – показатель Крамера–Уэлча.

Высвобождаемые КА способствуют поддержанию адекватного гомеостаза, в том числе воздействием на реологические и свертывающие свойства крови. Они оказывают влияние на активность образования тромбоцитарных агрегатов, кислородообмен эритроцитами крови и их деформационные свойства. Имеется прямая связь между деформационными свойствами эритроцитов и уровнем норадреналина в крови. Следует предположить, что регулярное воздействие бурь на организм, которое сопровождается норадреналовым и адреналовым выбросом, может стать одним из факторов риска у людей.

В этой связи был проведен анализ изменений реологических свойств крови. Результаты исследования показали, что в периоды гелиогеофизических возмущений изучаемые гемореологические характеристики имеют тенденцию к росту. На рис. 2 представлена динамика средних значений реологических характеристик в спокойные дни, за два дня перед бурей, во время возмущений и в течение трех дней после бури.

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что все показатели в спокойные дни не выходили за границы нормальных колебаний, но уже перед началом магнитной бури большинство рассматриваемых характеристик начинает изменяться. В дни возмущений средняя величина показателя агрегации эритроцитов у людей в 1.6 раза превышает его значение в спокойные дни, а агрегационная активность тромбоцитов возрастает в 1.4 раза. Статистический анализ показал, что в этих случаях значительное превышение верхнего параметра нормы показателей АЭ и АДФ-АТ сопровождается увеличением среднеквадратичного отклонения. Это указывает на большую вариабельность функциональной активности клеток крови в условиях гелиогеофизических возмущений.

В табл. 2 приведены данные для средних реологических параметров крови испытуемых и показателя Крамера–Уэлча в дни с различной гелиогеофизической обстановкой. Видно, что для показателей агрегации тромбоцитов и эритроцитов  $T_{0.05} > 1.96$ , что свидетельствует о различии выборок этих параметров в спокойные и возмущенные дни. Показатели гематокрита и фибриногена достоверно изменяются только перед бурей, в периоды бурь и после них выборки не удовлетворяют этому критерию.



**Рис. 2.** Динамика изменений средних значений гемореологических характеристик в различные периоды гелиогеофизических возмущений

1 – спокойные условия; 2 – за 2 дня до бури; 3 – во время бури; 4 – через 2 дня после бури

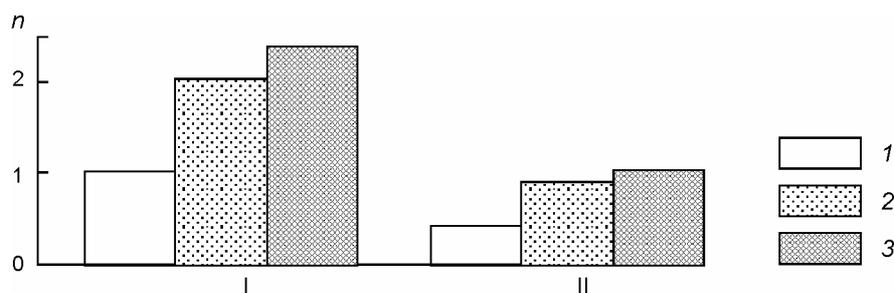
**Таблица 2.** Изменение средних реологических параметров крови испытуемых, показателя Крамера–Уэлча в дни с разной геомагнитной обстановкой

Показатель	Гелиогеофизические условия			
	Спокойные дни	Дни до бури	Буря	Дни после бури
<i>N</i>	30	24	28	21
<i>n</i>	28	10	25	17
<i>Вязкость (ВК)</i>				
<i>M</i> , отн. ед.	3.9	4.0	4.1	4.1
<i>m</i>	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>T</i>	–	0.09	1.41	1.36
<i>Гематокрит (ГТ)</i>				
<i>M</i> , мг/л	42.5	39.6	43.5	42.9
<i>m</i>	0.5	0.4	0.5	0.4
<i>T</i>	–	4.36	1.41	1.43
<i>Фибриноген (ФГ)</i>				
<i>M</i> , мг/л	241	275	239	241
<i>m</i>	9.9	10.7	11.1	12.9
<i>T</i>	–	2.37	0.03	0.023
<i>Агрегация тромбоцитов (АТ)</i>				
<i>M</i> , %	38.4	70.6	55.1	54.0
<i>m</i>	3.4	4.7	4.1	4.6
<i>T</i>	–	5.67	3.20	2.77
<i>Агрегация эритроцитов (АЭ)</i>				
<i>M</i> , %	12.4	19.8	22.7	20.4
<i>m</i>	2.4	2.9	2.7	2.9
<i>T</i>	–	1.98	2.86	2.13

*Примечания.* *N* – количество испытуемых; *n* – число дней; *M* – среднее значение параметра; *m* – стандартная ошибка; *T* – показатель Крамера–Уэлча.

Практически здоровый и больной организмы по-разному реагируют на внешние стресс-факторы. Условия во время возмущений являются тяжелыми даже для здорового организма и для его нормального функционирования требуется защита клеточных мембран и т.д. Относительно здоровый организм активизирует резервные механизмы адаптации к новым условиям, а больной организм порой не в состоянии справиться с задачей адаптации, поскольку его резервные возможности истощены. Состояние больного организма во время бурь характеризуется угнетением клеточного и гуморального звеньев иммунитета, снижением уровня эндогенных антиоксидантов, увеличением атерогенных фракций в крови.

Проиллюстрируем это на примере выборок регистра инсульта НЦ неврологии РАМН (1255 случаев), проведенного среди населения Тушинского р-на г. Москвы за 1974–1975 гг. в различные периоды гелиогеофизической обстановки. Временной диапазон включал 730 дней, из них 334 дня – спокойные, когда по данным регистра произошло 342 инсульта (1.02 инсульта в день). 112 дней предшествовали развитию магнитной бури; в эти дни было отмечено 227 инсультов, что соответствует 2.03 инсульта в день, т.е. вдвое больше, чем в спокойные дни. Магнитовозмущенных дней было 284 и в эти дни произошло 686 инсультов – 2.41 инсульта в день. Таким образом, в дни гелиогеофизических возмущений отмечено более чем двукратное достоверное увеличение числа инсультов. Частота случаев смерти от инсульта в спокойные дни составила 0.37 в день, в дни перед началом магнитной бури – 0.9 в день, а в период магнитной бури – до 1.01 случаев смерти в день.



**Рис. 3.** Частота случаев инсульта (I) и частота летальных исходов в результате инсульта (II) в спокойных гелиогеофизических условиях (1), перед (2) и во время (3) геомагнитных бурь по данным регистра инсультов НЦ неврологии РАМН для Тушинского р-на г. Москвы

Частота  $n$  приведена в единицах «среднее число инсультов и летальных исходов в день»

**Таблица 3.** Изменение случаев возникновения инсульта, смертности от него и показателя Крамера–Уэлча в дни с разной геомагнитной обстановкой

Показатель	Гелиогеофизические условия		
	Спокойные дни	Дни до бури	Буря
<i>Инсульт</i>			
$n_1$	334	112	284
$N$	342	227	686
$n$	1.02	2.03	2.41
$T$		2.19	3.01
<i>Смертность от инсульта</i>			
$N'$	126	101	287
$n'$	0.37	0.9	1.01
$T$		3.75	2.51

*Примечания.*  $n_1$  – число дней с разной геомагнитной обстановкой;  $N$  – общее число инсультов (объем выборки);  $n$  – средняя частота возникновения инсультов (в день);  $N'$  – общее число случаев инсультов со смертельным исходом;  $n'$  – средняя частота смертности от инсультов (в день);  $T$  – показатель Крамера–Уэлча.

На рис. 3 приведены обобщенные по всем группам больных гистограммы распределений средней частоты инсульта (в день) и средней частоты смертности от него. Видно увеличение этих показателей уже во время подготовки возмущения в околоземном пространстве. Дальнейший рост числа инсультов и смертности от него в периоды развития возмущения очевиден.

В табл. 3 приведены данные по числу случаев инсульта и смертности от него за рассматриваемый период в дни с разной геомагнитной возмущенностью. Видно, что  $T_{0.05} > 1.96$ , что свидетельствует о различии выборок этих параметров в спокойные и возмущенные дни.

### Обсуждение

Реология крови (от греч. «rheos» – течение, поток) определяется совокупностью функционального состояния форменных элементов (подвижность, деформируемость, агрегационная активность эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов), вязкости (концентрация белков и липидов) и осмолярности (концентрация глюкозы) крови.

Катехоламины – это физиологически активные вещества, которые являются медиаторами (норадреналин, дофамин, серотонин) и гормонами (адреналин, норадреналин). Все высшие формы поведения человека связаны с жизнедеятельностью нервных клеток, синтезирующих катехоламины. Катехоламины оказывают мобилизующее действие на энергетические резервы нервных клеток. Они активизируют окислительно-восстановительные процессы в организме, «запускают» сгорание источников энергии – в первую очередь углеводов, затем жиров и белков, влияют на реологические свойства крови.

Из данных проведенного выше анализа видно, что изменения концентраций нейротрансмитеров и агрегации эритроцитов и тромбоцитов в крови, связанные с усилением гелиогеофизической активности, в большинстве случаев происходят уже до начала собственно магнитной бури. Это позволяет предположить, что на начальных стадиях геомагнитных возмущений на организм действуют не изменения амплитуды геомагнитного поля, а другие физические факторы. Предполагается, что таким физическим механизмом является стохастический резонанс. По мнению авторов настоящей статьи, представляют интерес теории, основанные на подходе к организму как к сложной нелинейной автоколебательной системе, подверженной резонансному воздействию (см., например, [Узденский, 1999]).

Внешние электромагнитные колебания могут синхронизировать или десинхронизировать ритмы гуморальных систем организма. При развитии резонансных явлений возникает стрессовая реакция с активацией симптоадреналовой системы, что может способствовать увеличению концентрации катехоламинов. Нейротрансмитеры (в том числе катехоламины), активируя свертывающую систему крови, увеличивают агрегационный эффект эритроцитов и тромбоцитов. Агентом этого влияния, по-видимому, являются ионосферные резонаторы, добротность которых зависит от состояния ионосферы.

Из всего спектра электромагнитного поля, наблюдаемого на поверхности Земли, биологически действующий фактор находится в той частотной полосе, где уровень напряженности поля наибольший, а перепады напряженности от спокойных условий к возмущенным достаточно велики. Таким условиям удовлетворяет диапазон сверхнизких частот, в котором располагается низкочастотное «окно прозрачности» ионосферы. Электромагнитные волны с такими частотами свободно доходят до Земли, причем их интенсивность возрастает во время бурь в десятки раз [Акасофу, Чепмен, 1975; Родионов и др., 1999].

В низкочастотном диапазоне, кроме микропульсаций, генерируемых процессами в магнитосфере Земли, и шумановских резонансов, в волноводе Земля–ионосфера также образуется резонатор для альфвеновских волн. Существование этого резонатора обусловлено немонотонным профилем показателя преломления в области максимума слоя F2 ионосферы. Выше и ниже максимума слоя F2 при наличии отражений нарушается геометрическая оптика, чем обеспечивается возможность полного внутреннего отражения. Резонансная структура спектра атмосферного шумового фона является наряду с шумановской резонансной структурой регулярно наблюдаемой особенностью фонового электромагнитного шума в диапазоне частот 0.1–10 Гц. Свойства альфвеновского резонатора определяются характеристиками среды вдоль выбранной силовой линии. Частотный интервал спектра  $\Delta F$  альфвеновского резонатора имеет характерный суточный ход, который четко коррелирует с обратным суточным ходом критической частоты  $f_0F2$ , солнечной активностью и возмущенным состоянием ионосферы. В работах [Беляев, Поляков, 1989; Беляев и др., 1989] показано, что параметры резонансной структуры

в значительной мере контролируются структурой ионосферы в точке наблюдения. В спокойных условиях добротность резонатора – высокая ночью, более низкая утром, а вечером и днем – минимальная; в возмущенных условиях она увеличивается на стадии развития бури.

Теперь обратимся к внутренним частотам составляющих человека органов. Организм – система автоколебательная и нелинейная. Это подразумевает существование системы резонаторов и обратной связи между резонатором и источником энергии. За обратную связь в масштабах всего организма чаще всего ответственна нервная система, как система с наибольшей скоростью передачи сигнала. Следует заметить, что катехоламины непосредственно влияют на скорость передачи нервного импульса. В масштабах же таких осцилляторных систем, как нервная, кровеносная, сердце, – обратную связь осуществляют электрохимические процессы и механические передвижения.

Ритмы мозга фиксируются как электроэнцефалографами, так и магнитометрами [Узденский, 1999]. В табл. 4 представлены рассчитанные в работе [Хабарова, 2002] резонансные частоты головного мозга человека и частоты шумановского усиления электромагнитного шума и альфвеновского ионосферного резонатора. Из данных табл. 4 видно, что биоэффективные для мозга частоты 2.5–3.8 и 1.3–1.7 Гц оказались связанными с резонансами электромагнитного шума ионосферы, но не с шумановскими, вторая и третья гармоники резонанса мозговых нервных структур действительно могут быть обусловлены первыми гармониками колебаний в альфвеновском ионосферном резонаторе.

**Таблица 4.** Резонансные частоты головного мозга человека и частоты шумановского усиления электромагнитного шума и альфвеновского ионосферного резонатора

Диапазоны биоэффективных частот, Гц	Резонансные частоты ионосферного электромагнитного шума, Гц
5–7.6 ( $n = 1$ )	$7.8 \pm 1.5$ (шумановский, $n = 1$ )
2.5–3.8 ( $n = 2$ )	$3.5 \pm 1.2$ (альфвеновский, $n = 2$ )
1.3–1.7 ( $n = 3$ )	$1.8 \pm 1.2$ (альфвеновский, $n = 1$ )

*Примечание.*  $n$  – номера гармоник.

Таким образом, можно проследить цепочку событий: вариации электронной концентрации в максимуме слоя F2 на начальной фазе ионосферных возмущений приводят к флуктуациям частот и периодов ионосферного альфвеновского резонатора, которые, в свою очередь, могут влиять на ритмы головного мозга. При развитии резонансных явлений возникает стрессовая реакция, что ведет к дополнительному появлению в крови гормонов стресса – катехоламинов, которые прямо или опосредованно влияют на активацию свертывающей системы, повышение агрегации клеточных элементов и спазм в сосудах микроциркуляторного русла.

В работе [Сергеевко, Кулешова, 1995] по многолетним данным службы СМП г. Москвы показано, что статистически достоверная связь числа вызовов бригад СМП с ионосферными возмущениями в области F2 устанавливается в 1.5 раза чаще, чем с солнечными и геомагнитными бурями. Ионосферные возмущения могут происходить на спокойном геомагнитном фоне самостоятельно, а могут начинаться раньше геомагнитной бури, например положительная фаза двухфазного ионосферного возмущения. Эти

свойства ионосферных возмущений, по-видимому, и обуславливают их лучшую корреляцию со сдвигами в организме человека по сравнению с магнитными бурями.

Отмеченные в данном исследовании изменения содержания катехоламинов в крови и реологических свойств крови во время собственно геомагнитной бури на стадии ее развития и в периоды главной фазы, по-видимому, могут быть обусловлены и прямым воздействием магнитных бурь на мозг и систему крови. Отметим некоторые из них.

В работе [Бинги и др., 2006] установлено, что внутри организма могут присутствовать нанокристаллы ферримагнитных минералов, в частности  $Fe_3O_4$ . Определено, что они имеют биогенное происхождение, т.е. образуются со временем в результате кристаллизации непосредственно в клеточной среде. Биогенный магнетит обнаружен в мозге и других органах человека. Наличие магнетита в организме человека является одной из возможных причин его чувствительности к слабым магнитным полям и вариациям геомагнитного поля.

Кровь благодаря эритроцитам можно рассматривать как магнитонасыщенную среду. Гемоглобин эритроцитов включает атомы железа, обладающие ненулевым магнитным моментом. Среда, содержащая такие частицы, способна проявлять свойства, присущие магнетикам. Неоднородное магнитное поле влияет на распределение ионов и их перенос через эритроцитарную мембрану человека, изменяет электрический потенциал эритроцитов, в результате чего может происходить изменение структур клеточных мембран. В клетках, у которых мембраны находились под действием электромагнитного поля, происходило уменьшение электрической подвижности, что способствовало изменению агрегационных свойств, увеличению проницаемости через мембраны свертывающих факторов и изменению переноса электрогенных ионов натрия и калия. Спонтанное намагничивание массива частиц благодаря параллельной ориентации их магнитных моментов может привести к возникновению в нем групп с упорядоченной упаковкой частиц [Балуда и др., 1999]. Перемещаясь в сосудистом русле, такая группа представляет собой солитоноподобный объект. Образованию таких объектов в потоке крови способствует, очевидно, и явление обратимой агрегации эритроцитов. Так как по мере движения объекта вследствие изменения, например, просвета сосудистого русла магнитный поток его неизбежно изменяется, то в соответствии с законом электромагнитной индукции будут возникать электрические токи, стремящиеся компенсировать эти изменения. Поскольку плазма крови содержит большое количество ионов, то она электропроводна. Электрические токи, индуцируемые движущимися объектами, в состоянии вызвать усиление циркуляции плазмы вокруг них, а следовательно, и вокруг каждого эритроцита.

Также вполне возможно, что причиной гемореологических сдвигов во время возмущений может быть не один фактор, а комбинация нескольких физических и химических механизмов. Отметим лишь, что уровень знаний о природе связи медикобиологических эффектов с процессами в околоземном космическом пространстве к настоящему времени еще не миновал поисковой стадии.

### Заключение

Представленные в настоящей работе данные об изменении реологических характеристик и показателей катехоламинов крови во время возмущений указывают на наличие воздействий внешних электромагнитных факторов на систему гемостаза. Установ-

ленные в периоды повышенной гелиогеофизической активности у здоровых людей изменения гемореологических характеристик, обуславливающие ухудшение текучих свойств крови, могут стать одним из ведущих механизмов воздействия возмущений на цереброваскулярную систему человека. Характеристики ионосферных и геомагнитных возмущений могут служить индикатором воздействий физических процессов во время гелиогеофизических возмущений на здоровье людей.

Можно считать, что утвердительный ответ на вопрос о воздействии физических процессов во время геомагнитных возмущений на реологию крови статистически обоснован. Обсуждаемые в настоящей статье механизмы этого влияния могут помочь в ответе на вопрос, как происходит передача энергии. На наш взгляд, подход к организму как к сложной колебательной системе, подверженной резонансному влиянию, представляет интерес.

Очевидно, что неоднозначность реакции сложных нелинейных систем, каковым является организм человека, на слабые внешние воздействия гелиогеофизического характера зависит не только от свойств воздействующего фактора, но и от состояния самой системы. При целостности внутренней выстилки сосудистого русла у здоровых лиц изменения реологических свойств крови, связанные с возмущениями, являются обратимыми и носят адаптационный характер. Однако у больных людей с нарушениями мозгового кровообращения эти гемореологические изменения, вероятно, могут приводить к прогрессированию заболевания.

## Литература

- Акасофу С.И., Чепмен С.* Солнечно-земная физика. Ч. 2. М.: Мир, 1975. 509 с.
- Андреевко Г.Е., Серебрякова Т.Н., Подорольская Л.Е., Никольская К.А.* Популяционный подход к оценке функционального состояния защитных свойств крови // Тромбозы и геморрагии. ДВС-синдром, проблемы лечения. М., 1997. С. 8–9.
- Балуда В.П., Балуда М.В., Деянов И.И., Тлепушук И.К.* Физиология системы гемостаза. М., 1995. 243 с.
- Балуда В.П., Балуда М.В., Гольдберг А.П., Салманов П.Л., Ten Cate J.W.* Претромботическое состояние: Тромбоз и его профилактика. М.; Амстердам: ООО «Зеркало-М», 1999. 296 с.
- Беляев П.П., Поляков С.В.* Резонансные свойства ионосферы в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций. Ионосферный альфвеновский резонатор // Неустойчивости и волновые явления в системе ионосфера–термосфера: Материалы Международного симпозиума, г. Калуга, 6–10 февраля 1989 г. Горький, 1989. С. 217–238.
- Беляев П.П., Поляков С.В., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю.* Экспериментальные исследования резонансной структуры спектра атмосферного электромагнитного шумового фона в диапазоне короткопериодических геомагнитных пульсаций // Изв. вузов. Радиофизика. 1989. Т. 32, № 6. С. 663–672.
- Бинги В.Н., Чернавский Д.С., Рубин А.Б.* Фактор температуры и магнитный шум в условиях стохастического резонанса магнитосом // Биофизика. 2006. Т. 51, № 2. С. 274–277.
- Варакин Ю.Я., Ионова В.Г., Сазанова Е.А., Сергеевко Н.П.* Вейвлет-анализ в гелиобиотропных связях // Биофизика. 2004. Т. 49, № 4. С. 742–746.

- Ионова В.Г., Сазанова Е.А., Сергеенко Н.П. Влияние гелиогеомагнитных возмущений на гемореологические характеристики людей // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2004. Т. 38, № 2. С. 33–37.
- Комаров Ф.И., Бреус Т.К., Рапопорт С.И., Ораевский В.Н., Гурфинкель Ю.И., Халберг Ф., Корнелиссен Ж., Чибисов С.И. Медико-биологические эффекты солнечной активности // *Вестн. РАМН*. 1994. № 11. С. 37–49.
- Ларский Э.Г., Бархатова В.П., Демина Е.Г. Определение катехоламинов крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрической детекцией // *Лабораторное дело*. 1985. № 9. С. 519–522.
- Ораевский В.Н., Ионова В.Г., Канониди Х.Д., Сазанова Е.А., Сергеенко Н.П. Влияние гелиогеофизических возмущений на систему гемостаза здоровых людей и лиц с хронической цереброваскулярной патологией. М.: ИЗМИРАН, 2000. 25 с.
- Родионов Ю.Я., Яхновец А.А., Науменко А.А., Шебеко В.И. Электромагнитные поля в гемодинамике: Физические механизмы взаимосвязи // *Электромагнитные поля и здоровье человека: Материалы Второй международной конференции «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация»*, г. Москва, 20–24 сентября 1999 г. М., 1999. С. 40–41.
- Рутберг Р.А. Простой и быстрый метод определения скорости рекальцифазы и фибрина крови // *Лабораторное дело*. 1961. № 6. С. 6–7.
- Сергеенко Н.П., Кулешова В.П. Об изменении медицинских показателей во время гелиогеофизических возмущений // *Биофизика*. 1995. Т. 40, № 4. С. 825–828.
- Узденский А.Б. Реализация в клетках резонансных механизмов биологического действия сверхнизкочастотных магнитных полей // *Электромагнитные поля и здоровье человека: Материалы Второй международной конференции «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация»*, г. Москва, 20–24 сентября 1999 г. М., 1999. С. 43.
- Хабарова О.В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами организмов // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2002. № 5. С. 56–66.

#### *Сведения об авторах*

**ВАРАКИН Юрий Яковлевич** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией эпидемиологии и профилактики заболеваний нервной системы, Научный центр неврологии РАМН. 125367, г. Москва, Волоколамское ш., д. 80. Тел.: +7 (499) 490-21-09. E-mail: iovic@mail.ru

**ИОНОВА Виктория Григорьевна** – доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией гемореологии, Научный центр неврологии РАМН. 125367, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 80. Тел.: +7 (499) 490-20-41. E-mail: iovic@mail.ru

**САЗАНОВА Елена Анатольевна** – кандидат медицинских наук, заведующая отделением неврологии, больница РАН. 142190, г. Москва; г. Троицк, Октябрьский просп., д. 3. Тел.: +7 (916) 145-91-49. E-mail: esazanova09@yandex.ru

**СЕРГЕЕНКО Надежда Петровна** – кандидат физико-математических наук, заведующая сектором солнечно-ионосферных связей, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. 142190, Россия, г. Москва; г. Троицк, Калужское ш., д. 4. Тел.: +7 (495) 851-01-17. E-mail: serg@izmiran.ru

## INFLUENCE OF HELIOGOPHYSICAL DISTURBANCES ON FLUID PROPERTIES OF BLOOD OF THE PERSON

Yu.Ya. Varakin<sup>1</sup>, V.G. Ionova<sup>1</sup>, E.A. Sazanova<sup>2</sup>, N.P. Sergeenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Scientific Center of Neurology, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,  
Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow region, Russia

**Abstract.** Changes of fluidity of blood, levels of catecholamins of blood on different phases of of heliogeomagnetic disturbances are analyzed in this paper. The physical processes influencing on cerebrovascular shifts at people during indignations are discussed. Physical characteristics of environment (bioeffective frequencies of ionospheric resonators) are compared with own frequencies human body. It is supposed, that the human body is the difficult nonlinear self-oscillatory system exposed to resonant influence. It is supposed, that in a storm initial stage the stochastic resonance can be one of physical mechanisms of influence of external weak periodic signals against noise. External electromagnetic fluctuations can synchronize or desynchronize rhythms of electromagnetic fluctuations of cells of a brain and blood. Ionosphere disturbances lead to fluctuations of frequencies and the periods of the ionosphere Alfen's resonator which, in turn, can influence on rhythms of components of an organism, first of all on a brain and rheological properties of blood, as in experiences in vitro, and in vivo. Also possibility of direct influence of geomagnetic variations during storms on a brain and the system of blood connected with influence of an electromagnetic field on dynamics of process of aggregation–disaggregation of erythrocytes and ADF (an adenosinediphosphatase acid) – induced platelet aggregation. (ADF-AT) in a blood stream is discussed. The found out effects are statistically authentic and specify presence of direct influences of physical processes during indignations on blood cells. The received results allow to assume, that, one of leading mechanisms of influence of indignations on cerebrovascular system of the person are their effects on a condition of rheological properties of blood. Ionosphere and geomagnetic disturbances can be the indicator of influences of physical processes during heliogeophysical disturbances on health of people.

*Keywords:* heliogeophysical disturbances, geomagnetic storm, human body, catecholamins, rheological properties of blood.