

У ДАНИЛОВ В. И.,  
Б 2-8160.  
Д-183

+



3875/74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2  
Б 2-8160

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1974

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.И. Данилов

У  
Д. - 13

Б2-8160

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ  
НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА

г. Дубна, 1969 г.

Руководитель лаборатории  
В.И. Данилов  
30 июля 1969 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Предлагаемая работа посвящена возможному механизму влияния солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека.

В работе на основе обобщения наиболее важных опытных данных по проблеме солнечно-земных связей автором выдвигается гипотеза, согласно которой одним из факторов внешней среды, который может быть ответственным за разнообразные явления, связанные с проявлением солнечной активности в биосфере Земли, является изменение магнитного поля Земли во времени.

Впервые данная работа была доложена на общелабораторном семинаре Лаборатории ядерных проблем в 1969 году, а в последствии она неоднократно докладывалась на семинарах в ряде научных институтов страны и встречалась с определенным интересом.

Полученные автором совместно с сотрудниками П Московского медицинского института им. Пирогова (копия статьи прилагается) в 1972 году экспериментальные данные, свидетельствующие о несомненном влиянии медленно меняющихся во времени магнитных полей малой напряженности на продукцию фага (лизогенными) бактериями  $E. coli K12(\lambda)$ , позволяют в настоящее время представить эту работу читателям, интересующимся проблемой солнечно-земных связей.

В.И. Данилов

12 июля 1974 года.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	I - 8
I ГЛАВА. <u>ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ОРГАНИЗМ</u> <u>ЧЕЛОВЕКА</u>	9 - 43
§ 1. Электрическое поле Земли	9 - 16
§ 2. Магнитное поле Земли	19 - 24
§ 3. Солнечная активность и кровеносная система человека.	24 - 43
II ГЛАВА. <u>СТРУКТУРА И РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО</u> <u>ЗАРЯДА КРОВИ ПО ЧИЖЕВСКОМУ</u>	43 - 88
§ 1. Состав крови	43 - 48
§ 2. Особенности кинематики эритроцитов	48 - 58
§ 3. Замечания по расчету гидродинамической силы, действующей на эритроцит.	58 - 60
§ 4. Электростатическое отталкивание двух изолированных эритроцитов.	60 - 65
§ 5. Магнитное притяжение двух изолированных эритроцитов.	65 - 67
§ 6. Взаимодействие эритроцита с магнитным полем кровеносного сосуда.	67 - 71
§ 7. Взаимодействие эритроцита с электростатическим полем сосуда.	71 - 74
§ 8. Электромагнитные силы в кольцевых структурах эритроцитов. Электрические силы.	74 - 82
§ 9. Магнитные силы	82 - 88

	Стр.
III ГЛАВА. <u>ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА КАК ПРИЕМНЫЙ</u> <u>КОНТУР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ</u>	88
§ 1. Особенности малого круга крово- обращения.	88 - 93
§ 2. Малый круг кровообращения как приемный контур электромаг - нитной энергии.	93 - 96
§ 3. Гипотеза о механизме воздейст- вия солнечной активности на человеческий организм.	96 - 102
§ 4. Роль гепарина и замкнутых конту- ров в организме человека.	102- 105
§ 5. Экспериментальные данные и гипоте- за действия солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека.	105- 114
Заключение	114 - 116
Литература	117 - 120

Посвящается светлой  
памяти А.Л.Чижевского  
(1897-1964)

## ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени накоплен большой статистический материал, показывающий функциональную зависимость различных явлений в биосфере Земли от изменения солнечной активности.

От отличия в толщине и цикличности в следах годовых колец на срезах больших деревьев, изменений состава крови, динамики инфарктов и инсультов, а также нарушений деятельности сердечно-сосудистой системы человека во время магнитных бурь, до периодических отклонений в средней длине тела трески — таково безусловно краткий и далеко неполный перечень примеров возможного влияния Солнца на процессы, происходящие в живой и неживой природе Земли.

Поэтому одной из актуальных задач современной науки являются поиски гипотез, механизмов, моделей, процессов в какой-то степени объясняющих солнечно-земные связи.

Здесь прежде всего необходимы самые детальные и тщательные исследования влияния на живые организмы электрических и магнитных полей<sup>(1)-(2)</sup>, обладающих особо выделенными свойствами по координатам и времени, так как многочисленные экспериментальные данные о проявлениях солнечной активности в биосфере Земли в последние годы тесно увязываются не просто с наличием солнечной активности, а в большей степени с темпом ее изменения.

Последнее утверждение является крайне важным.

В вопросе изучения влияния солнечной активности на биосферу Земли Советскому Союзу принадлежит общепризнанный приоритет А.Л.Чижевский (1897-1964 г.г.) по праву может считаться родоначальником гелиобиологии. Им по этим вопросам опубликовано 104 работы (из них 21 на русском и 83 - на иностранных языках).

В своих ранних работах (1915-1928 г.г.) А.Л. Чижевский впервые указал на основе статистики, что только многие эпидемические заболевания (чума, холера, грипп, тиф и т.д.) синхронно следуют в соответствии с изменением уровня солнечной активности, но и другие процессы в биосфере Земли не являются исключением из этого правила и что при рассмотрении физиологических процессов в живом организме нельзя упускать из поля зрения электрическое и магнитное поля, которые постоянно <sup>м</sup>сопутствовали и <sup>с</sup>сопутствуют развитию и <sup>е</sup>совершенствованию всей биосферы живой природы.

Открытие А.Л.Чижевского (1918-1919 г.г.) биологического и физического действия отрицательных ионов на живой организм послужило <sup>о</sup>основанием для большого цикла работ, заложивших фундамент новой науки - биологической <sup>о</sup>аэроионификации, результаты которой имеют практическое значение и нашли применение в медицине, промышленности и сельском хозяйстве.

Логическим продолжением и завершением предыдущих работ по гелиобиологии и биологической аэроионификации явились работы А.Л.Чижевского по исследованию структуры движущейся крови, а также работы по электромагнитным свойствам крови (6)-(7)

Для того, чтобы понять значение этих работ необходимо хотя бы кратко осветить содержание и историю поднимаемых в них вопросов.

С тех пор как впервые Девонс /в 1870 г./ указал, что отталкивание одноименно заряженных взвешенных в жидкости частиц одна от другой является силой, препятствующей сближению этих частиц, их слипанию и выпадению из раствора, идеи об определяющей роли электрических зарядов получили широкое распространение и легли в основу ряда представлений коллоидной химии, а также стали проникать в медицину и биофизику. В настоящее время принято считать, что наличие электрических зарядов, их количество и полярность обуславливает устойчивость дисперсной системы белковых структур в живой клетке.

Уже в 20-е годы /ряд авторов /Фараеу, Гёбер, Пондер, Колло и др./ изучает роль электрического заряда, главным образом, с клинической точки зрения – скорость потери электрических зарядов эритроцитами при оседании красной крови была определяющей при анализе нормального или патологического состояния организма.

К началу 30-х годов опубликованные в научной печати высказывания и наблюдения в отношении электрического заряда морфологических и корпускулярных элементов крови фактически привели к постановке проблемы изучения электрической структуры крови в целом.

В 1928 г. профессор А.Л. Чижевский, изучавший /с 1915 г. / действие на организм факторов внешней среды / в частности, солнечных возмущений / экспериментально установил влияние хромосферных вспышек на скорость оседания красной крови<sup>(3)</sup>. Тогда же /1928 г./ им было открыто влияние циклической деятельности Солнца на чистоту



инфарктов и инсультов<sup>(4)</sup>. В начале 30-х г.г. / у А.Л. Чижевского созрела совершенно определенная точка зрения на кровь как на электрическую систему все время балансирующую около точки своего равновесия<sup>(5)</sup>. Электрические свойства крови статистически увязываются с физическими факторами внешней среды / с концентрацией аэроионов в атмосфере, с геомагнитными возмущениями/.

С этой концепцией нельзя не согласиться, вспомнив, что эволюция жизни шла в теснейшей связи с вечно изменяющимся внешним миром, обусловившим динамику биологических и физиологических процессов, протекающих внутри организма в упорядоченных, взаимосвязанных соотношениях. Рассматривая сегодня человека как биок cyberнетическую систему, легко понять, что становление и развитие его организма протекало в условиях наличия электрических и магнитных полей. Рассматривать эволюцию и существование живых организмов без этого было бы глубоко неправильным.

„ Система воздух - кровь, т. е. система общения организма с внешней средой, является самой важной и самой ответственной за жизнь. Она находится в непрерывном действии в течение всей жизни и прекращение ее работы означает смерть организма. А.Л. Чижевский не только обратил на нее пристальное внимание, но и направил свои силы на самое подробное и всестороннее исследование этой системы. Он занялся проблемой, никем до него не затронутой - динамикой пространственно-структурных ансамблей в движущейся по сосудам крови и явлениями, связанными с этими динамически

подвижными структурами в норме и при патологии. Им была открыта стройная и взаимосвязанная во всех своих частях и функциях динамическая структура крови, прочно связанная с макрсистемами организма. Эти обширные исследования были А.Л.Чижевским опубликованы в большой многографии<sup>(6)</sup>.

В этой работе им проанализирован вопрос о пространственном расположении эритроцитов в кровотоке и показано, что при нормальном состоянии организма взаимное расположение эритроцитов должно быть строго упорядочено в пространстве кровеносного сосуда, в то время как различные заболевания, а также воздействия внешних физических факторов /например, возмущения внешнего электрического и магнитного полей, ионизирующая радиация/ должны нарушать эту строгую систему.

Эта проблема как в теоретическом, так и в экспериментальном плане была поставлена на обсуждение впервые.

Пространственная структура движущейся крови—"зеркало" состояния организма. Она определяется гидродинамическими<sup>и</sup> электродинамическими<sup>и</sup> другими силами, действующими на эритроциты в кровяном русле и претерпевающими отклонения от нормы при ряде патологических состояний. Устойчивость и, следовательно, физиологические функции радиально-кольцевых систем эритроцитов зависят не только от гемодинамических факторов, но и от количества электричества, несомого каждым отдельным эритроцитом. Это последнее обстоятельство, по мнению А.Л.Чижевского, играет очень существенную роль в предотвращении образования эритроцитами тромбов<sup>(7)</sup>.

Эти работы знаменовали новый качественный переход не только в науке о крови, но и в электрофизиологии вообще, поскольку в них рассматривается ключевой "узел" живых систем, в котором оказались завязаны воедино важнейшие явления как внешней, так и внутренней среды организма, открывая тем самым широкое поле интересных и многообещающих исследований.

Данная работа является результатом тщательного и детального изучения трудов А.Л.Чижевского по структурному анализу и электромагнитным свойствам движущейся крови и дальнейшим развитием его концепции о том, что электрический заряд крови представляет один из основных показателей нормального или патологического состояния организма человека в целом.

При подборе материала для этой работы автор понимал, что анализируя те или иные явления, относящихся к солнечно-земным связям, следует подходить к ним с определенной осторожностью, так как даже очень точное совпадение изменений различных индексов солнечной активности с ходом ряда процессов в обширном и многогранном мире биосферы Земли, когда коэффициент корреляции соответствующих кривых близок к единице, не может служить еще полным и окончательным доказательством непосредственной причинно-следственной связи рассматриваемых явлений.

Для объяснения результатов статистики и действительного понимания физической природы рассматриваемых явлений необходимо знание основных закономерностей процессов, обуславливающих те или иные солнечно-земные связи, и, как следствие этого, конкретные модели процессов, действие которых можно проверить в лабораторных условиях.

В работе обосновывается и предлагается модель механизма действия солнечной активности на сердечно-сосудистую и нервные системы человека.

Гипотеза о механизме развития сердечно-сосудистых и связанных с ними нервных заболеваний во время магнитных бурь базируется на возмущении электрического баланса крови при возникновении вследствие закона электромагнитной индукции Фарадея дополнительных отрицательных зарядов в кровеносной системе человека из-за быстрых по времени изменений магнитного поля Земли.

В Безусловно, сердечно-сосудистые заболевания являются очень сложным, многогранным и длительным процессом во времени, зависящим от большого количества разнообразных параметров.

Ряд авторов в качестве основного фактора считает неправильное или нерациональное питание, а именно, чрезмерное потребление пищи, содержащей большое количество холестерина и насыщенных жирных кислот.

Советские клиницисты не отрицают роли рационального питания в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, но считают более важным неврогенные факторы.

Для последнего времени характерным является изменение точки зрения состоящей в том, что не холестерин и насыщенные жиры, а сахара - основной виновник сердечно-сосудистых заболеваний и их драматического финала - инфаркта миокарда.

Однако аргументы, приводимые в защиту той или иной точки зрения и часто базирующиеся на анализе географического распространения сердечно-сосудистых заболеваний, их связи с климатом или экономическим укладом жизни, особенностями питания и т.д., являются непонятными и недостаточно убедительными, если при этом не принимается во внимание явления, связанные с изменением солнечной активности.

Постановка вопроса о влиянии солнечной активности на сердечно-сосудистую и нервные системы человеческого организма не является новой.

В настоящее время признается на основе статистических данных непосредственная связь изменений солнечной активности с нарушениями деятельности сердечно-сосудистой и нервных систем человека.

Даже более, в ряде работ указывался конкретный вид излучения, а именно, в дни солнечных бурь основное влияние на организм человека оказывают электрические и магнитные поля.

Однако без учёта зависимости составляющих электрического и магнитного полей от пространственных координат и времени, а также без использования общих законов электродинамики, исследования по проблеме солнечно-земных связей носили и носят описательный и в большей степени статистический характер.

В данной работе предпринята попытка исправить этот недостаток и вниманию читателя предлагается конкретная модель механизма влияния циклической деятельности Солнца на сердечно-сосудистую систему человека, что предопределило в свою очередь как расположение, так и само содержание материала.

# I глава. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ОРГАНИЗМ

## ЧЕЛОВЕКА

### § I. Электрическое поле Земли.

Исследование атмосферного электричества и проведенные соответствующие расчеты показали, что Земля обладает отрицательным зарядом, средняя величина которого оценивается в 500 тыс. кулон.

В атмосфере, окружающей Землю, имеется вертикальное электрическое поле с градиентом около 100-120 в/метр.

Знак поля показывает также то, что Земля заряжена отрицательно.

В отсутствие каких-либо предметов на ровном месте характер распределения эквипотенциалей показан на рис. I.

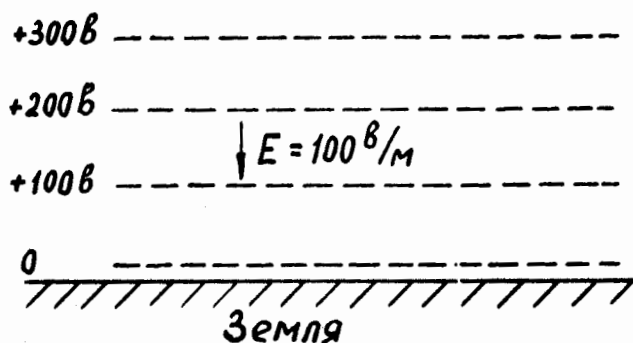


Рис. I.

Распределение потенциала над Землей.

В этом случае эквипотенциали представляют линии параллельные Земле с перепадом напряжения между ними около 100-120 в/метр.

При помещении человека на Землю или его перемещении картина эквипотенциалой меняется, имея вид, изображенный на рис. 2.

Здесь уже в отличие от первого рисунка эквипотенциальные линии изгибаются. Причем, характер распределения эквипотенциалей будет таков, что будет некоторая, отличная от нуля, разность потенциалов между головой человека и его ногами.

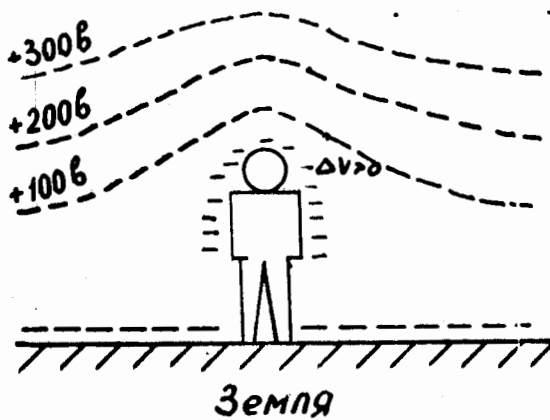


Рис. 2.

Распределение потенциала около человека, стоящего на ровном месте.

С этой точки зрения, человека, находящегося на Земле, можно рассматривать как некоторую биокibernетическую систему, подключенную в электрическую сеть атмосферы и в принципе говорить о зарядовом балансе человека, как одного из возможных условий его долголетней жизни.

## II.

Так как общий заряд Земли отрицателен и ни в каких масштабах не сопоставим с суммарным зарядом человеческого организма, то стационарное или равновесное состояние зарядов внутри организма возможно лишь для отрицательных ионов. Это позволяет в свою очередь говорить о справедливости идей А.Л.Чижевского о превалирующем и благотворном влиянии отрицательных ионов на организм человека ( 8 ).

К формулировке зарядового баланса и его возможном экспериментальном подтверждении вернемся несколько позднее.

Из основных свойств электрического поля атмосферы отметим следующие: (8) - (10)

1. С увеличением высоты электрическое поле постоянно ослабевает и на высотах около 50 км. оно близко к нулю.

Большая часть потенциала  $U = \int E_z dz$  (I.II) приходится на малые высоты.

2. Разность потенциалов между поверхностью Земли и верхним слоем атмосферы равна почти

$$U = 400 \text{ кВ}$$

Эта разность потенциалов обусловлена слоем положительно ионизированных ионов, обнаруженных на высотах около 50 км. и отрицательным зарядом Земли.

3. Силовые линии электрического поля атмосферы направлены сверху от положительного слоя зарядов к отрицательно заряженной Земле.

Между верхними слоями атмосферы и поверхностью Земли происходит постоянное взаимодействие или своеобразный электрический круговорот.



Ввиду того, что Земля по отношению к атмосфере заряжена отрицательно, то положительные заряды устремляются сверху вниз, а отрицательные - снизу вверх, образуя вертикальный ток проводимости.

Измерения проводимости, сделанные во многих местах, в большинстве случаев показывают наличие положительной проводимости, что объясняется влиянием земного поля и направлением силовых линий, оканчивающихся на отрицательно заряженной Земле.

Установлено, что на один квадратный метр поверхности Земли попадает ток с плотностью около  $j \approx 10^{-12}$  ампер/м<sup>2</sup>

Полная проводимость атмосферы определяется как

$$\lambda = [\rho^+ k^+ + \rho^- k^-] e \quad (I.12)$$

где  $k^+$  и  $k^-$  - коэффициенты подвижности для положительных или отрицательных ионов соответственно,  $\rho^\pm$  - число положительных или отрицательных ионов в единице объема,  $e$  - заряд электрона.

Отношение положительных аэроионов к отрицательным в единице объема называется коэффициентом униполярности и определяется как

$$K = \frac{\rho^+}{\rho^-} = 1,2$$

Проводимость атмосферы обусловлена наличием в ней различных ионов. К ним, например, могут относиться молекулы кислорода либо с избытком электрона, либо с его недостатком. Положительно либо отрицательно заряженные ионы воздуха могут собирать вокруг себя другие ионы, образуя сгустки зарядов, дрейфующие в электрическом поле атмосферы Земли.

В настоящее время одной из основных причин появления ионизированных атомов и молекул принято считать космические лучи,

так как в этом случае становится понятным, почему растет величина ионизации единицы объема воздуха с высотой.

Потоки частиц больших энергий, влетая из космического пространства в атмосферу Земли, постоянно продолжают в ней все новые и новые быстрые ионы.

Необходимо иметь в виду, что кроме быстрых ионов космического происхождения, в атмосфере Земли находятся очень малые комочки пыли, особенно, после волнений, а над морями и океанами водяная пыль, которые на своей поверхности могут иметь заряды и быть источниками медленных ионов.

Хотя проводимость атмосферы Земли и мала  $j \approx 10^{-12} \text{ а/м}^2$ , но общий ток положительных зарядов, достигающих Землю, составляет около 1800 ампер. Естественно, что при таком большом токе, как показывают оценки, отрицательный заряд Земли должен бы исчезнуть всего лишь за 30 минут. Однако этого не происходит, и Земля в известных масштабах времени заряжена по-прежнему отрицательно, а потенциал в воздухе положителен, оставаясь практически неизменным.

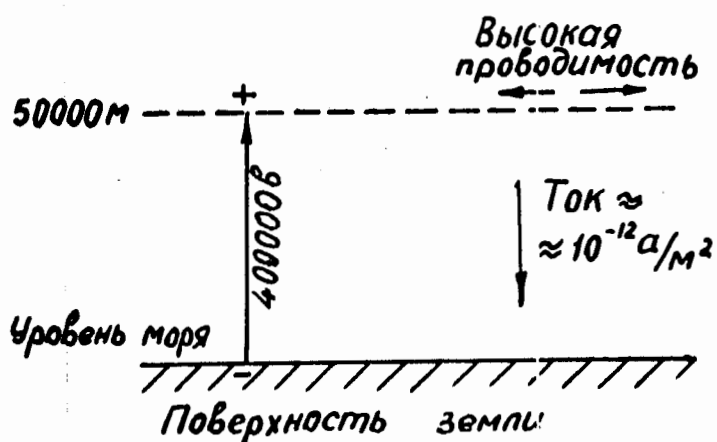


Рис. 3.

Стабильность электрических свойств атмосферы, схематически показанная на рис. 3, поддерживается на одном уровне, как считают ученые, за счет грозовой деятельности, приносящей в Землю 1800 ампер отрицательного электричества.

Электрическое поле атмосферы подвержено многолетним периодическим, годовым, суточным и аperiodическим колебаниям, связанным с космическими, геофизическими и метеорологическими явлениями. Так, на рис. 4 приведена среднесуточная вариация электрического поля атмосферы.

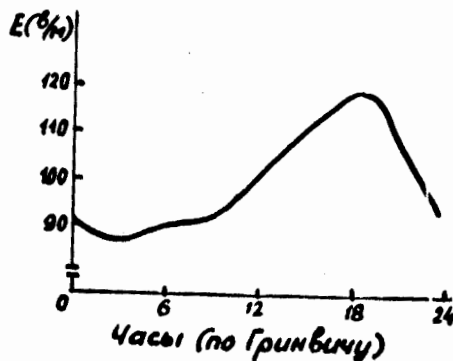


Рис. 4.

Средняя суточная вариация градиента потенциала атмосферы в ясную погоду над океанами.

Характерным является то, что поле атмосферы меняется приблизительно на  $\pm 15\%$  и достигает своего максимального значения в 7 час. вечера по мировому времени, а сам максимум не зависит от точки наблюдения. Последнее объясняется тем, что на высотах порядка 50 км. имеется слой положительно заряженных ионов, обладающих большой азимутальной составляющей проводимости, которая и исключает местные вариации разности потенциалов между Землей и верхней частью атмосферы.

Как уже указывалось, молнии в атмосфере являются теми источниками больших отрицательных токов, которые поддерживают отрицательный заряд Земли практически на одном уровне. Максимум кривой зависимости напряженности электрического поля атмосферы от времени объясняется соответствующим по времени /19 час. по Гринвичу / максимум грозовой деятельности /за сутки на Земле происходит около  $50 \cdot 10^3$  гроз/.

Наличие слоя положительных зарядов на высоте около 50 км. с большой по величине азимутальной составляющей проводимости по своему действию эквивалентно сфере их хорошо проводящего "металла".

В этих условиях действие такой хорошо проводящей сферы должно приводить к демпфированию быстрых изменений электрического поля во времени от вторгающихся в околоземное пространство потоков заряженных частиц, исходящих от Солнца как в годы его спокойствия, так и в годы бурной активности.

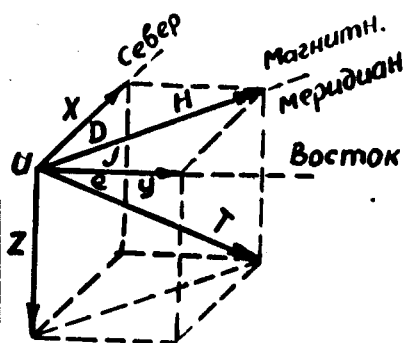
В то же время, напряженность электрического поля Земли в местных масштабах может быть подвержена резким колебаниям.

Исследованиями отмечена тесная связь между колебаниями напряженности электрического поля Земли и изменением метеорологических факторов (температура, влажность, прозрачность воздуха, наличие облаков, скорость ветра и т.д.).

При грозах, ливнях, метелях и других явлениях природы напряженность электрического поля Земли меняется в довольно широких пределах ( до нескольких тысяч вольт на метр).

## § 2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Магнитное поле Земли в каждой точке пространства характеризуется магнитным склонением, магнитным наклонением, горизонтальной и вертикальной составляющими поля / см. рис.5 /



$$\begin{aligned}
 X &= H \cos D, \quad T = H \sec J, \quad \operatorname{tg} D = \frac{Y}{X} \\
 Y &= H \sin D, \quad H = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad T = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \\
 Z &= H \operatorname{tg} J, \quad \operatorname{tg} J = \frac{Z}{H}
 \end{aligned}$$

Рис. 5.

Разложение магнитного поля  $H$  на составляющие элементы.

$H$  - горизонтальная составляющая,  $Z$  - вертикальная составляющая  
Земного поля,  $D$  - магнитное склонение,  $J$  - магнитное наклонение.

Известно, что магнитное поле Земли обладает различными вариациями и может быть представлено суммой двух полей - постоянного и переменного. Переменное поле невелико и как правило не превышает нескольких процентов от наблюдаемого.

Анализ магнитограмм показывает, что в ряде случаев вариации магнитного поля происходят плавно, а иногда имеют беспорядочный характер. В первом случае вариации магнитного поля называются спокойными, а во втором возмущенными.

Для спокойных вариаций характерна строгая периодичность /солнечно-суточные вариации, лунно-суточные вариации с периодом равным лунным суткам, годовые вариации, вариации с периодом, равным суткам и связанным с вращением Земли вокруг своей оси и т.д. /.

Для возмущенных вариаций также присущи некоторые периодические пульсации магнитного поля /возмущенные суточные вариации с периодом, равным солнечным суткам, магнитные вариации с периодом, величина которого лежит в пределах от нескольких минут до нескольких секунд/.

### МАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ

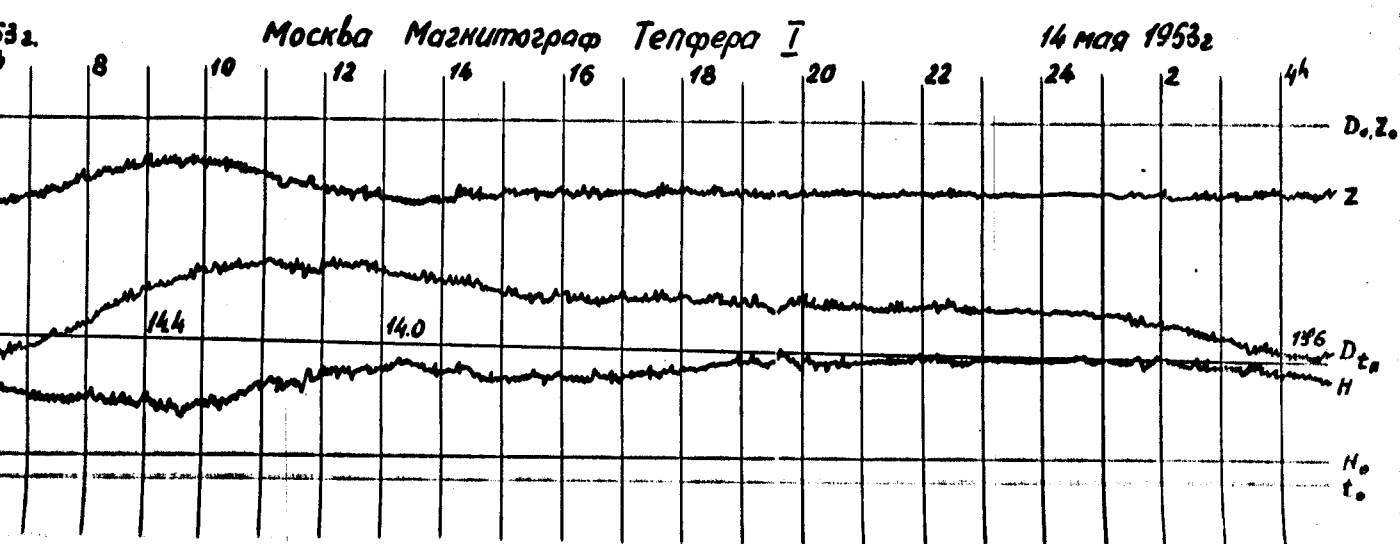


Рис. 6.

Время в течение которого магнитное поле испытывает относительно планшые изменения, называется магнитно активным.

На рис. 6 приведена типичная магнитограмма "спокойного дня".

Магнитограмма дня без магнитного возмущения /"спокойного дня"/. Вертикальные прямые- часовые отметки. Прямые  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  "сильные" прямые, которые чертятся лучами света, отраженными не-

подвижными зеркалами.  $Z, H, D$  -- кривые, которые чертятся лучами света, отраженными подвижными зеркалами трех соответствующих магнитных вариометров,  $t_0, t_H$  - запись температуры вариометров.

Оценка интенсивности геомагнитных возмущений производится по общепринятой характеристике, так называемого К-индекса. Так, например, в пятибальной шкале К-индекса

0,0	- магнитное поле спокойное
0,5	_____ слабо возмущенное
1,0	_____ умеренно возмущенное
1,5	_____ сильно возмущенное
2,0	_____ очень сильно возмущенное

Численное определение К-индекса основано на определении максимального отклонения возмущенного магнитного поля от уровня, соответствующего спокойной суточной вариации.

Для каждой геомагнитной ширины <sup>с.т.</sup> существует своя шкала К-индекса, дающая связь между максимальными амплитудами трехчасовых отклонений поля от уровня спокойного дня.

Так, например, в таблице I, дан К-индекс и соответствующие отклонения поля. <sup>(15)</sup>

Таблица I

Пределы изменения амплитуды в гаммах	0	5	10	20	40	70	120	200	330	500
К- индекс	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Изучение вариаций поля показано, что магнитная активность тесно связана с солнечной активностью, одним из проявлений которой является пятнообразовательная деятельность Солнца.

За меру солнечной активности принято так называемое число Вольфа  $W$ , определяемое числом пятен и числом их групп при оптических наблюдениях за поверхностью Солнца.

Связь между магнитной активностью и солнечной активностью выявлена из сравнения соответствующих данных за относительно большой промежуток времени.

На рис. 7 показаны графики солнечной и магнитной активности за период 1830–1930 г.г.

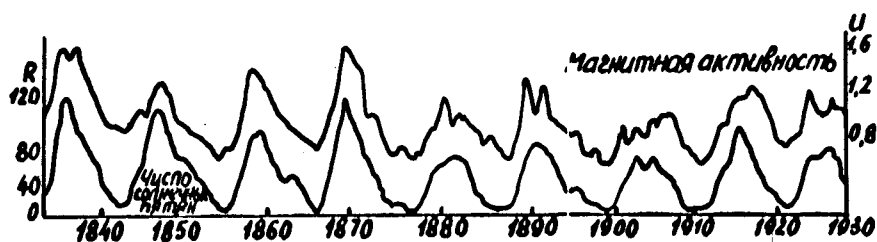


Рис. 7.

Солнечная и магнитная активность за период с 1830 по 1930 г.г. / по Ю.Бартельсу /  $W$  — число солнечных пятен,  $U$  — индекс магнитной активности.

Из них отчетливо видно, что в годы максимума солнечных пятен имеет место и максимум магнитной активности с периодом около 11 лет.

Обнаружена повторяемость магнитной активности через 27 суток, связанное с вращением Солнца вокруг своей оси и обусловленная тем, что солнечные пятна существуют длительное время, в течение нескольких оборотов Солнца.



## МАГНИТНЫЕ БУРИ

Магнитными бурями называют резкие неправильной формы колебания магнитного поля Земли как по величине, так и по направлению / см, рис. 8,9 /.

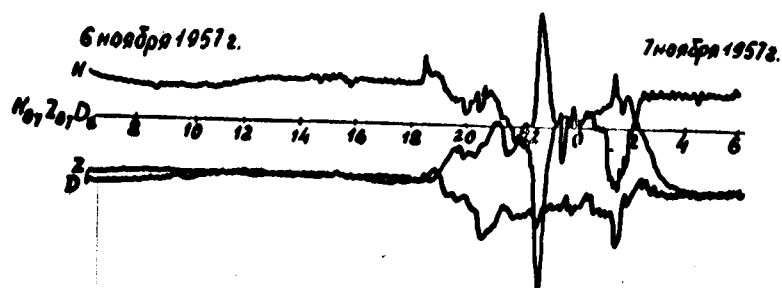


Рис. 8.

Магнитограмма  $H, Z, D$  обсерватории Воейково  
во время бури 6-7 ноября 1957 года

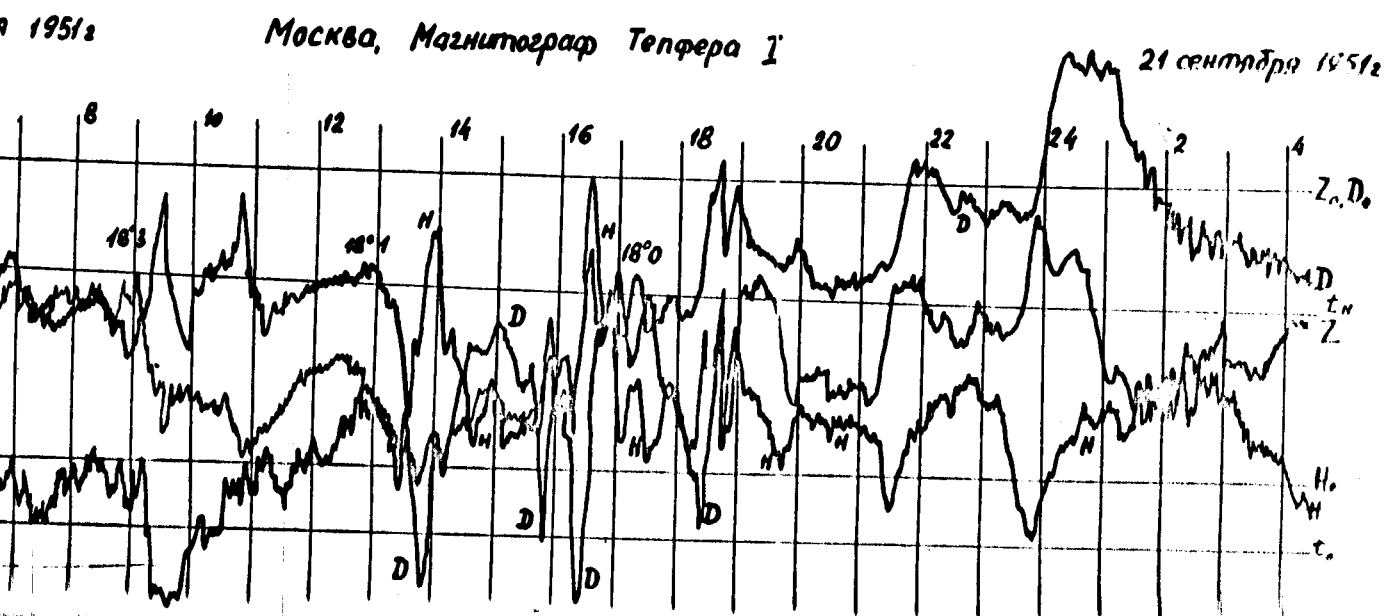


Рис. 9.

Магнитограмма дня с магнитной бурей. Прямые  $\mathcal{D}_0$ ,  $\mathcal{Z}_0$  - "базисные" прямые, которые чертятся лучами света, отраженными неподвижными зеркалами.  $H$ ,  $\mathcal{X}$ ,  $\mathcal{D}$  - кривые, которые чертятся лучами света, отраженными подвижными зеркалами трех соответствующих магнитных вариометров,  $t_H$  - запись температуры вариометров.

Анализ магнитограмм показывает, что можно выделить один или несколько периодов, продолжительностью в несколько часов, во время которых колебания магнитного поля особенно велики и беспорядочны.

Для выделения активных периодов еще не предложены объективные количественные критерии и поэтому анализ магнитограмм во время активного периода в большинстве случаев субъективный характер.

Однако известно, что большинство активных периодов /80 %/ начинается в промежутке времени от 7 до 17 часов по мировому времени.

Количество магнитных бурь и их интенсивность изменяется в зависимости от одиннадцатилетнего цикла солнечной активности и от сезона.

Весной и осенью, во время равноденствия магнитные бури бывают чаще, чем зимой и летом.

Различают два вида магнитных бурь - полярные и мировые. Полярные бури бывают особенно сильными в высоких широтах с амплитудой до сотен гамм ( $\gamma = 10^{-5}$  эрстеда) и продолжительностью до нескольких часов.

Для мировых бурь характерны значительные / до 1000 и более / и быстрые колебания магнитного поля Земли, особенно, сильные в высоких и средних широтах.

Средняя продолжительность мировых бурь составляет около 2-3 суток.

Магнитное поле мировой бури обычно рассматривают как сумму трех полей.

$$M = S_d + D_{st} + D_i \quad (2.1)$$

$S_d$  - возмущение суточной вариации, определяемой как разность суточных вариаций по возмущенным дням и суточных вариаций по спокойным дням.

$D_{st}$  - аperiodической вариации магнитного поля, отсчитываемой от начала бури,

$D_i$  - вариации поля, которые проявляются в резких и неправильных изменениях магнитного поля.

На рис. 10 показана аperiodическая часть магнитной бури.

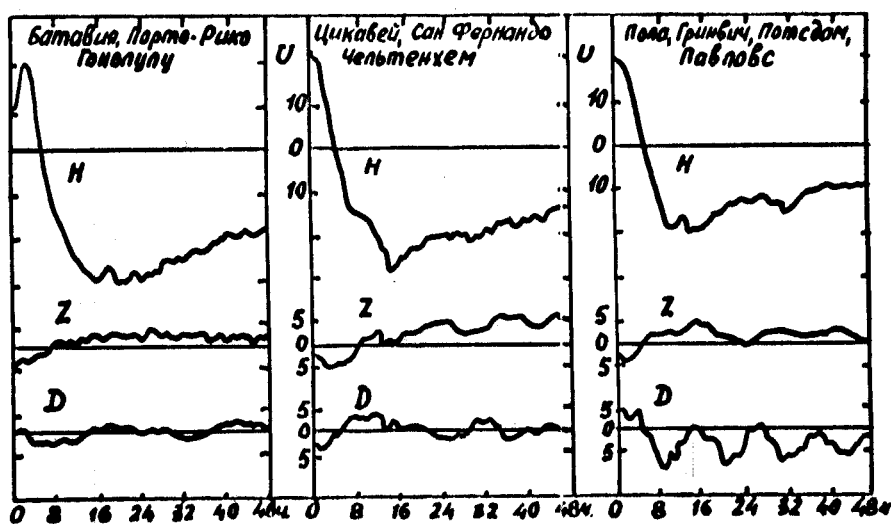


Рис. 10.

Аperiodические вариации на различных обсерваториях / по С.Чоппену /

На рис. II показана изменение количества бурь от году к году и их четкая связь с солнечной активностью. 1968 и 1969 г.г. предполагаются более активными, чем предшествующие годы солнечной активности 1956 - 1957.

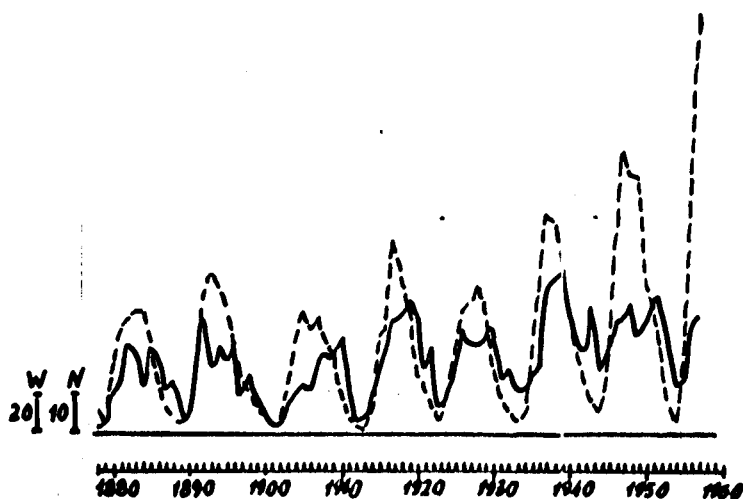


Рис. II

Число бурь по годам / 1878-1957 г.г./ . Сплошной линией дано число бурь /N/, прерывистой - относительное число солнечных пятен /W/.

Внизу - годы, слева - масштабы в единицах.

Прямая, параллельная шкала лет-нулевая линия /по "Справочнику НИИЗМ"/.

Найденная связь солнечной активности с магнитными бурями дает возможность их заранее прогнозировать, что имеет уже в настоящее время большое практическое значение не только с точки зрения оценки возможностей нарушения радиосвязи и телеграфа, как увидим в дальнейшем с целью создания специальной предупредительной-профилактической службы.

Из сопоставлений общих свойств электрического и магнитного поля Земли следует, что в периоды солнечной активности компоненты электрического и магнитного поля Земли могут испытывать значительные колебания как по величине, так и по направлению.

Необходимо особо отметить, что в периоды магнитной активности и, особенно, во время магнитных бурь могут быть значительными по величине производные по времени от магнитного поля  $(\partial H / \partial t)$ , несмотря на малую абсолютную величину поля.

### § 3. Солнечная активность и кровеносная система человека.

В большом цикле работ, посвященных установлению солнечно-земных связей как правило производится сопоставление ряда процессов, происходящих на Земле, с одновременной регистрацией каких-либо событий, происходящих на Солнце.

В настоящее время часто за меру солнечной активности принимают так называемые числа Вольфа, определяемые как

$$W = n + 10f \quad (I.3.I)$$

где  $n$  - число пятен,  $f$  - число групп пятен.

Для характеристики солнечной активности введены помимо чисел Вольфа, ряд других индексов. <sup>(16)-(18)</sup>

К ним относятся:

1. площадь пятен,
2. площадь и яркость факелов, флоккул, волокон,
3. яркость и притяженность областей монохроматического излучения солнечной короны,
4. интенсивность радиоизлучения Солнца и другие.

Перечисленные характеристики просты, однако они не отражают динамики развития пертурбационных процессов на Солнце во времени.

Так, например, легко составить ряд комбинаций  $\mathcal{N}$  - числа пятен и  $\mathcal{F}$  - числа групп пятен, при котором числа Вольфа  $\mathcal{W}$  - будут одинаковыми и таким образом не отражать отличную друг от друга солнечную активность.

Поэтому правы те авторы, которые для оценки солнечной активности при исследованиях ее связи с биосферой Земли предлагают вместо чисел Вольфа - другие характеристики.

В частности более правильной характеристикой солнечной активности является плотность потока радиоволн, предложенная Н.П. Цимахович (19), которая может быть связана не только с началом солнечной активности, но и отражать взрывной характер возмущений на Солнце.

Характерным в этом отношении является высказывания Б.А. Рывкина о связи солнечной активности и сердечно-сосудистых заболеваний, в которых он отмечает рост заболеваний этого типа в период нарастания солнечной активности, особенно, в первые 2-4 дня.

Так Б.А.Рывкин приходит к выводу (20), "что в отличие от более простых тестов /химические, лейкоциторные, уровень артериального давления и др. / при развитии инфаркта миокарда неблагоприятное воздействие связано не столько с абсолютной и суммарной величиной солнечной активности, сколько с темпом ее роста и величиной превышения исходного уровня. Вследствие этого даже в годы минимума небольшие возмущения могут оказать значительное биотрофное воздействие."

В работе К.Ф.Новиковой, Т.Н. Панова и А.П. Шушакова показано ( 21 ),

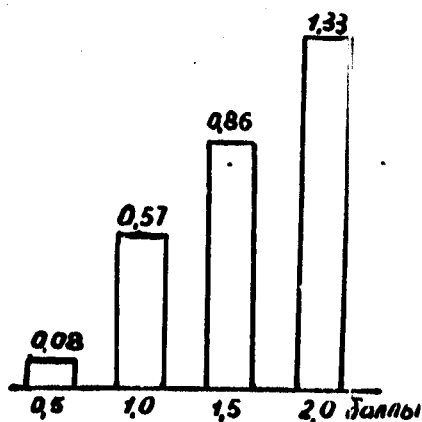


Рис. 12.

что при сильных возмущениях магнитного поля Земли от инфаркта миокарда больные погибают в II раз чаще, а при очень сильных возмущениях магнитного поля в I6 раз чаще, чем при слабых возмущениях магнитного поля Земли.

Эти цифры наглядно видны из приведенного рисунка 12, на котором приведено число смертей, приходящихся на один день магнитной бури в зависимости от индекса интенсивности бури К в баллах.

При этом следует подчеркнуть, что в пятибалльной системе индекс характеризует магнитоактивные дни, а не возмущения магнитного поля Земли во время их бурь, когда колебания интенсивности магнитного поля особенно велики.

А.Л.Чижевский особое внимание обращает на действие резких толчкообразных импульсных факторов солнечной активности, условно названных им  $Z$  - излучением.

Так по этому вопросу А.Л. Чижевский пишет ( 22 ) "Можно допустить, что излучение влияет на белково-коллоидные системы крови, лимфы, клеточную протоплазму и вызывает в них коллоидно-электрические изменения, которые влекут за собой коагуляцию коллоидов и тем самым, при известных условиях патологическое состояние организма и приводят его к катастрофе".

Важно в этом высказывании то, что имеет место ударное или импульсное воздействие, способное расстраивать устойчивость физиологических процессов в организме человека на такое время, при которой он не имеет необходимого времени для восстановления устойчивости нарушаемых процессов.

Говоря о внешней среде и о ее влиянии, мы также говорим и о космическом пространстве, окружающим Землю и действующим на ее биосферу электромагнитным полем, меняющимся во времени и в пространстве.

Солнечная активность, проявляющаяся в появлении пятен, извержений и т.д., сопровождается на Земле сильнейшими возмущениями магнитного поля, градиента потенциала атмосферного электричества, нарушениями в работе проволочной и радиосвязи и многими другими аномалиями в атмо-, гидро-, био-, литосфере земного шара.

Помимо рентгеновского, светового, ультрафиолетового и радиоволнового излучения Солнце выбрасывает из возмущенных участков потоки заряженных частиц. Ионизированный слой земной



атмосферы вследствие высокой азимутальной проводимости задерживает часть электромагнитного спектра. Лишь волны длиной от 20 метров и меньше частично проникают на поверхность Земли в ослабленном виде.

В отношении потоков заряженных частиц принято считать, что они не достигают поверхности Земли. В верхних слоях атмосферы они вызывают ионизацию и отклоняются магнитным полем Земли.

Что же влияет на изменение ряда процессов на Земле при проявлении солнечной активности?

Какое-либо специфическое излучение доселе нам неизвестное, либо возмущения электромагнитного поля и его обычных характеристик, к которым лишь в определенных пределах адаптировался и человеческий организм, и бактериальная клетка, и вирусы гриппа.

Известно, что жизненные процессы происходят в жидких средах организма, в растворах с определенной концентрацией положительных и отрицательных ионов. С движением ионов связана электрическая активность тканей, биотоков в мозгу, сердце, мышцах и т.д. и какие бы не были сложные явления, происходящие внутри организма, или отдельной клетки, они обусловлены в конечном счете электромагнитными силами.

Заряды и компоненты напряженностей электрического и магнитного полей, определяющие электромагнитные силы, должны удовлетворять уравнениям Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon} & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 & \operatorname{rot} \vec{B} &= \frac{1}{c^2} \left[ \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\vec{j}}{\epsilon} \right] \end{aligned}$$

(I.3.2)

где  $\rho$  - плотность зарядов,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды.

$\vec{E}$  - вектор напряженности электрического поля.

$\vec{B}$  - вектор напряженности магнитного поля.

$V_{эм}$  - скорость распространения электромагнитных волн в рассматриваемой среде.

$\vec{j}$  - плотность токов.

К уравнениям Максвелла в форме ( I.3.2 ) необходимо добавить уравнение закона сохранения заряда в окрестности рассматриваемой точки в виде

$$\operatorname{div} \vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad ( I.3.3 )$$

Уравнение (I.3.3) является уравнением непрерывности и оно указывает на то, что полный ток через замкнутую поверхность равен уменьшению заряда внутри этой поверхности.

Если кровеносную систему человека рассматривать как устойчивую во времени систему движущихся микроэлементов крови, несущих на своей поверхности заряды, то силы, ответственные за устойчивость этой системы, будут силами электромагнитного и гидродинамического и гравитационного происхождения.

При анализе электромагнитных сил /последние в принципе описываются с помощью уравнений Максвелла, хотя и определение компонент сил может в настоящее время не представляться возможным мы будем понимать под  $\rho, \vec{j}, \vec{E}, \vec{B}$  совокупность внутренних в организме человека и дополнительных от внешних в окружающей среде зарядов, токов и электромагнитных полей соответственно, т.е.

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{орг} + \rho_{дон} & \vec{j} &= \vec{j}_{орг} + \vec{j}_{дон} \\ \vec{B} &= \vec{B}_{орг} + \vec{B}_{дон} & \vec{E} &= \vec{E}_{орг} + \vec{E}_{дон} \end{aligned} \quad ( I.3.4 )$$

и производных по времени от компонент поля

$$\frac{\partial}{\partial t} (\vec{B}_{opz} + \vec{B}_{gom})$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\vec{E}_{opz} + \vec{E}_{gom}) \quad (1.3.5)$$

где  $\rho_{gom}$ ,  $\vec{j}_{gom}$ ,  $\vec{B}_{gom}$ ,  $\vec{E}_{gom}$  в свою очередь являются функциями параметров  $\rho$  среды,  $\vec{j}$  среды,  $\vec{B}$  среды,  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  среды, и  $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$  среды.

Уравнение движения какого-либо микроэлемента крови, несущего на своей поверхности заряд  $q$ , под действием электромагнитных, гидродинамических и гравитационных сил, могут быть записаны в общем виде как

$$m \frac{\partial^2 \mathcal{L}}{\partial t^2} = F_{\mathcal{L}}^{em} (\vec{E}, \vec{B}, \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \rho, \vec{j}, \mu, \epsilon_0) + F_{\mathcal{L}}^{zg} + F_{\mathcal{L}}^{zg} \quad (1.3.6)$$

где  $\mathcal{L} = x, y, z$  - пространственные координаты,  $t$  - время,  $m$  - масса частицы,  $F_{\mathcal{L}}^{zg}$  - характеризует гидродинамическую силу, а  $F_{\mathcal{L}}^{zg}$  - гравитационную силу,  $F_{\mathcal{L}}^{em}$  - электромагнитную силу.

В частности перенос кровью необходимого количества кислорода к различным органам определяется интегральной поверхностью эритроцитов, которая будет максимальной только тогда, когда эритроциты в пространстве кровеносного сосуда будут изолированы друг от друга с помощью электромагнитных и гидродинамических сил. Вклад в этот эффект гравитационной силы близок к нулю вследствие ее постоянства в пределах геометрических размеров человеческого организма.

Из уравнения (1.3.6) и соотношений (1.3.4) и (1.3.5) видно, что устойчивость такой системы будет определяться не только компонентами электромагнитных полей, но и их производными по

времени. В том случае, когда  $(\partial \vec{B} / \partial t)_{\text{среды}} = 0$  ( $\partial E / \partial t$ ) среды = 0, что является наиболее типичным, работа кровеносной системы человека нормальна и устойчива, но при быстрых изменениях электромагнитного поля Земли следует ожидать для работы кровеносной системы нарушений ее условий устойчивости.

Так как человеческий организм как биокibernетическая система в течение многовековой эволюции своего развития адаптировался к внешним условиям электромагнитной среды Земли, то можно говорить в общем случае об основных условиях устойчивого существования организма человека.

Первое условие

$$\rho_2 \leq \rho_{\text{орг}} + \rho_{\text{ум.}} \leq \rho_1 \quad (\text{I.3.7})$$

где  $\rho$  является функцией плотности зарядов отрицательных ионов кислорода, поступающих в организм из воздуха через легкие человека,  $\rho$  - плотность зарядов в какой-то точке, находящейся внутри организма.

Одним из ионов, необходимым для развития жизни в биосфере Земли, явился и является ион кислорода, знак заряда которого определяется его химической и биологической активностью при реакциях с другими элементами, а также особенностями электрического поля Земли.

Говоря о химической и биологической активности положительного или отрицательного иона следует упомянуть (8), что

I. коэффициент диффузии отрицательных ионов, независимо от того какой газ воздуха ионизовать, больше коэффициента диффузии положительного иона, что является существенным физико-химическим фактором.

2. подвижность отрицательных ионов больше подвижности положительных.

3. из сопоставления ионизационных способностей также следует большая способность производить расщепления молекул отрицательными ионами, чем положительными.

Таким образом по диффузии, подвижности, особенно ионизирующей способности отрицательные ионы активнее положительных. Наличие большого отрицательного заряда Земли, находящегося непосредственно в контакте с биосферой, должно оказывать стабилизирующее действие на концентрацию и динамическое равновесие отрицательных ионов в единице объема атмосферы.

Исследованиями показано, что окружающий нас воздух всегда ионизирован /до  $1 \cdot 10^3$  аэроионов в  $1 \text{ см}^3$ /.

Большим циклом исследований установлено ( 8 ), что отрицательные аэроионы оказывают в целом на организм благоприятное действие, а положительные аэроионы, в соответствии с имеющимися наблюдениями, следует рассматривать как неблагоприятный фактор.

Атмосферный воздух, профильтрованный через слой ваты и тем самым лишенный зарядов, при воздействии на организм животных приводит их к серьезным заболеваниям, а затем через ограниченный срок к смерти. Анализ организмов погибших животных показывает, что их гибель является результатом нарушения интенсивности окислительно-восстановительных процессов.

А.Л.Чижевским было экспериментально установлено, что отрицательные ионы кислорода в основном проникают в организм через дыхательный аппарат и затем в кровяное русло, тем самым постоянно стабилизируют суммарную поверхность эритроцитов, необходимую для производства всех окислительно-восстановительных процессов в организме.

Поэтому воздух помещений, в которых человек проводит 90% жизни и в котором отсутствуют отрицательные ионы кислорода в достаточной концентрации, способствует падению защитных сил организма и в конечном счете к его преждевременному изнашиванию и старению.

Отсюда одно из основных условий нормальной жизнедеятельности человека является то, что в окружающем нас пространстве плотность отрицательных ионов кислорода не должна быть меньше некоторой критической величины, т.е.

$$\rho_2^{O_2^-} \leq \rho^{O_2^-} \leq \rho_1^{O_2^-} \quad (I.3.8)$$

Опыты А.Л.Чижевского с животными, воздух к которым подавался через определенный слой ваты и тем самым лишенный всех зарядов, говорит о том, что гибель животных в результате нарушения окислительно-восстановительных процессов в их организме наступает в течение некоторого промежутка времени (  $\tau$  ).

Наличие такого конечного интервала времени, когда плотность зарядов аэроионов воздуха в условиях эксперимента должна быть почти равной нулю, приводит к выводу о наличии некоторых компенсаторных функций по восстановлению зарядового баланса крови внутри организма животных.

По-видимому могут существовать и другие источники пополнения зарядов на эритроцитах при их движении по сложной сети кровоснабжения организма человека.

Второе условие

$$C_2 \leq \frac{\partial}{\partial t} [\bar{V}_{орг} + \bar{V}_{гем}(\bar{V}_{сред})] \leq C_1 \quad (I.3.9)$$

$$C_4 \leq \frac{\partial}{\partial t} [\bar{E}_{орг} + \bar{E}_{гем}(\bar{E}_{сред})] \leq C_3$$

Это условие характеризует устойчивость кровеносной системы человека к ударным воздействиям электромагнитного происхождения, связанного с проявлением солнечной активности.

Статистические исследования А.Л.Чижевского зависимости общей смертности от изменения магнитного поля, так и более современные исследования, в частности, Б.А. Рывкина в Ленинграде, К.Ф. Новиковой, Т.Н. Пановым, А.П. Шушаковым в Свердловске по вопросу учащения числа инфарктов и инсультов во время магнитно-активных дней могут быть объяснены с помощью соотношений (1.3.9).

Так на рис. 13 дано семейство усредненных кривых по 68 оборотам Солнца в функции суточного оборота Солнца, равного 27 земным суткам.

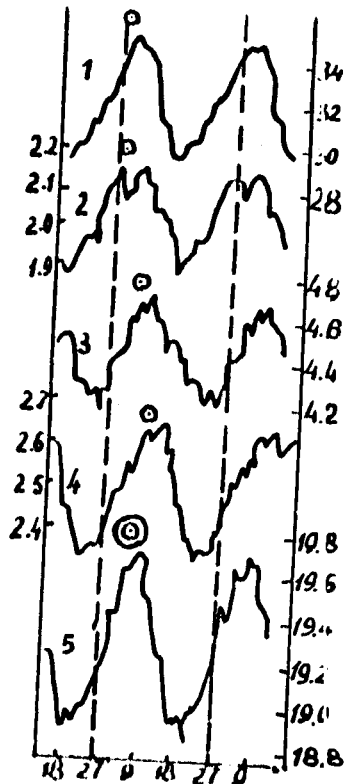


Рис. 13.

1—ход магнитных возмущений /мировой итер/; 2—динамика случаев смерти от заболеваний центральной и периферической нервной системы: 3720 случаев; 3—динамика случаев смерти от заболеваний

сердечно-сосудистой системы и старческой дряхлости: 8099 случаев, 4-динамика случаев смерти от заболеваний органов дыхания: 4579 случаев; 5-динамика случаев смерти от разных причин /кроме убийств: 35244 случая/. По А.Л.Чижевскому. Копенгаген. По 27-дневному периоду обращения солнца. Средние из 68 оборотов Солнца.

По ординатам отложены вариации напряженности магнитного поля Земли и числа случаев смерти от различных причин.

Совпадение этих явлений позволяет говорить о связи вариаций магнитного поля Земли и числа смертей человека от разных причин. Коэффициент корреляции некоторых из этих кривых близок к единице.

Однако следует подчеркнуть, что усреднение крови произведено почти за 6 лет и только благодаря большому промежутку времени интегральная кривая  $B = B(t)$  отразила достаточно точно усредненную величину  $\langle \frac{\partial B}{\partial t} \rangle$ , так как

$$B(t) = \int_0^t \frac{\partial B}{\partial t} dt = \langle \frac{\partial B}{\partial t} \rangle \cdot t \quad (1.3.10)$$

и скрыла тем самым ударный характер воздействия электромагнитной среды, если в качестве гелиогеофизического индекса пользоваться ходом магнитных возмущений Земли, а не их производной во времени.

На ранее приведенном рисунке I2 представлена диаграмма числа смертей от инфаркта миокарда за относительно короткий промежуток времени в зависимости от интенсивности изменений магнитного поля Земли в пятибальной системе.



Не говоря о печальных последствиях влияния магнитных бурь на развитие инфарктов миокарда, из приведенного рисунка четко виден динамический характер этой связи, при котором больные погибают в 16 раз чаще при индексе магнитных возмущений  $K = 2$ , чем при индексе  $K = 0,5$ , несмотря на его неопределенность и субъективность в оценке возмущений магнитного поля Земли.

Третье условие

$$C_6 \leq \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{\text{земля}} + \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{\text{человек}} + \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{\text{легкие}} + \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{\text{сп}} \leq C_6 \quad (I.3.II)$$

Это соотношение по смыслу эквивалентно рассмотрению человека как биокибернетической системы подключенной в электрическую сеть атмосферы. Размерность константы  $C_6$  соответствует - "напряжение в вольтах деленное на сопротивление".

Возможность написания такого соотношения в виде (I.3.II) основана не только на том, что человек находящийся на поверхности Земли будет иметь отличную от нуля разность потенциалов  $\Delta V \neq 0$  между макушкой человека и его пятками, а также на том, что для создания токов и связанного с ними магнитного поля ~~в~~ в различных органах человека, необходима электродвижущая сила.

Живой организм на всех стадиях своего развития имел и имеет непосредственный контакт с электрическим полем и токами находящимися в атмосфере Земли. Стсюда можно предполагать, что внесение в организм человека из вне дополнительных токов, обусловленных космическими факторами, может вызвать в тех или иных органах нарушения равновесных процессов и привести ослабленный организм к катастрофе.

Представляет несомненный интерес хотя бы качественно рассмотреть ряд работ, связанных с изменением характеристик крови.

Основываясь на идеях и работах А.Л.Чижевского М.Таката с 1935 года исследует, открытую им, диагностическую реакцию крови на выпадение из нее белковых тел при введении в кровь некоторых химических реактивов и названную реакцией "F"

*Flockingszohl - reaction* (23)

Реакция "F" происходит, когда испытуемый и лаборант берущий кровь, надежно изолировались от Земли ( /  $\frac{dQ}{dt}$  / Земля = 0 с точки зрения уравнения /1.3.II/ ).

В этом случае кровь, как коллоидный раствор подвержена всем воздействиям электромагнитной среды, окружающей человека.

Реакция "F" имеет отчетливо выраженный суточный ход. При этом до астрономического момента восхода солнца примерно за 6-8 минут <sup>она</sup> возрастает на 20%.

В течение дня реакция "F" возрастает, но после захода Солнца вновь уменьшается.

Увеличение солнечной активности, связанные с происхождением групп солнечных пятен через центральный меридиан почти всегда сопровождается подъемом реакции "F", которая в связи с этим отчетливо обнаруживает 11-летний цикл и 27-дневный период вариации скорости выпадения белковых тел из сыворотки крови человека.

Проверка влияния на ход реакции "F" света, ультрафиолетовых лучей, радиоволн мягкого рентгеновского излучения, гамма-лучей, нейтронов в тех дозах, которые имеют место в биосфере Земли, дала отрицательный ответ.

Жесткие рентгеновские лучи с длиной волны от 0,1 до 0,07 А /ангстрем/, гамма-лучи и нейтроны и даже нейтрино вызывают увеличение реакции "F", но только при таких интенсивностях, которые не существуют в природе.

В исследованиях реакции " $\bar{F}$ ", проведенных с помощью авиации, было обнаружено увеличение ее по мере возрастания высоты. • Что это так, Таката доказал с помощью экспериментов в барокамере, когда понижение давления / но не высоты, а это важно / не вызывает изменения реакции "F".

Не менее интересную и важную реакцию кроветворных органов на солнечную активность исследует Н.А. Шульц, работающий в Сочи. <sup>(24)-(27)</sup>

Им собрано и обработано 300 тыс. анализов крови из ряда стран, произведенных в различных географических точках Земли, отстоящих друг от друга тысячи километров в период нескольких солнечных циклов и показано, что возрастание солнечной активности, увеличение числа вспышек и протуберанцев приводит почти повсеместно к уменьшению белых кровяных клеток-лейкоцитов с одновременным увеличением содержания в крови лимфоцитов.

В этих больших и кропотливых исследованиях существенным является то, что реакция крови зависит также от широты. Особенность ее в том, что при этом этом на экваторе в крови не отмечают практически никаких солнечно обусловленных изменений.

Следует отметить существенную особенность как реакция "F" так и лейкоцитарных тестов Шульце, что они, как правило, являются результатом статистической обработки результатов экспериментов за относительно большой период времени.

Авторы, говоря о синхронности соответствующих кривых с кривой солнечной активности, добавляют обычно мало значимое в тексте слово "почти", но очень существенное и дающее возможность для построения новых гипотез о механизме воздействия солнечной радиации на кровь человека или на другие физико-химические процессы в биосфере Земли.

Так, например, на рис. 14, взятого из работы Н.А. Шульца (27) показана зависимость лейкоцитарного теста "А" в годовом его ходе.

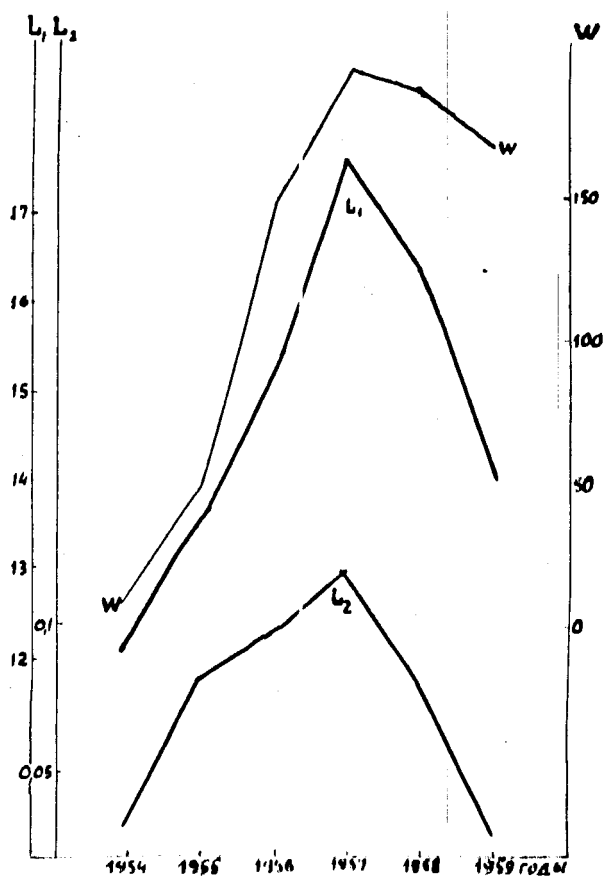


Рис. 14.

Рис. 14. Синхронность % функциональных лейкопений с числом солнечных пятен в 1954-1959 г.г. / по данным Э.А.Сенчищевой и Л.Я.Криковцовой, Хоста 28492 случая/:  $\angle_1$  - % лейкопений с числом лейкоцитов ниже 5000:  $\angle_2$  - ниже 3000. / по Н.А.Шульцу/.

Из приведенного графика ясно видна синхронность тестов Шульца с кривой солнечной активности.

В тоже время Н.Т. Цимахович в своей работе <sup>(19)</sup> предлагает использовать в качестве индекса солнечной активности плотность потока радиоволн от Солнца и приводит интересный график, показывающий что лейкоцитарные тесты Шульца расходятся с числами Вольфа.

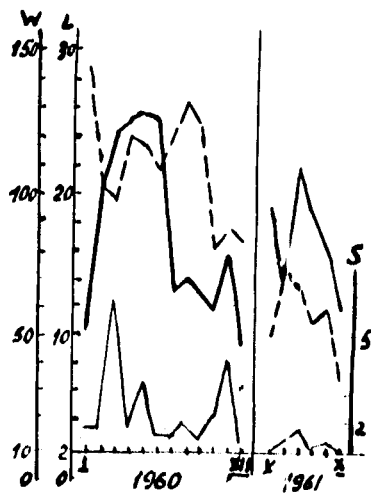


Рис. 15. Изменение количества случаев лейкопений / жирная линия/, чисел Вольфа /пунктир/ и плотность потока радиоволн на частоте 200 Мгц /тонкая линия/.

/по Н.П.Цимахович/

Это расхождение хорошо видно из рис. 15, на котором сопоставлены количества случаев лейкопений и среднемесячных потоков радиоволн на частоте 200 Мгц.

Характерно, что ход тестов Цульца лучше согласуется с ходом потока радиоволн, чем с ходом чисел Вольфа.

Так на февраль и март 1960 г. приходится синфазность возрастания радиопотока и кривой числа лейкопений, а летом 1961 г. максимум лейкопений также соответствует максимальному средне-месячному значению радиопотока, но не максимуму чисел Вольфа.

К сожалению, исследования по проблеме "солнце-кровь" в основном являются статистическими, когда за усреднением различного рода тестов может ускользать динамика процессов, а через нее и ключ к механизму воздействия Солнца не только на кровь человека, но и на всю биосферу Земли.

Так как равновесие процессов в живой и неживой природе в своей основе имеет электромагнитную структуру, электрические и магнитные поля которой удовлетворяют уравнением Максвелла, то в качестве индексов солнечной активности вместо чисел Вольфа  $/W/$  площади солнечных пятен  $/S/$ , а также других индексов можно использовать правые части уравнений Максвелла, рассматривая в них электромагнитные характеристики биосферы Земли как факторы, возмущение которых в каждый момент времени зависит от солнечной активности нашего светила.

В соответствии с этим из уравнений / 3.2 / в качестве индексов при исследованиях влияния солнечной активности на биосферу Земли можно использовать следующие:

I. Для зарядов среды

$$\rho^{\pm}(t) = \rho^{\pm}(t) \quad (1.3.12)$$

где  $\rho^{\pm}$  — плотность положительных и отрицательных ионов в единице объема воздуха.

Следует отметить, что эта характеристика не является прямой, а только косвенной, так как появление дополнительных зарядов в точках пространства исследуемого процесса возможно в том случае, когда электрическое и магнитное поле Земли испытывает быстрые по времени возмущения.

2. Для магнитного поля среды

$\frac{\partial B}{\partial t}$  - для коротких интервалов времени

$$\text{и } \vec{B}(t) = \int_0^t \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dt \quad (1.3.13)$$

и  $\frac{\partial B}{\partial t}$  - для больших промежутков времени.

3. Аналогично для электрического поля среды

$\frac{\partial E}{\partial t}$  - для коротких интервалов времени

$$\text{и } \vec{E}(t) = \int_0^t \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} dt \quad (1.3.14)$$

- для больших промежутков времени.

4. В соответствии с ранее высказанными предложениями и как следствие (1.3.13) и (1.3.14) - плотность энергии электромагнитного поля, определяемую как

$$S = \frac{1}{2} [\mu H_{ср\text{ед}}^2 + \epsilon E_{ср\text{ед}}^2] \quad (1.3.15)$$

Несмотря на то, что многочисленные исследования влияния на организм животного электромагнитных волн различной длины не дали еще окончательного ответа введение характеристики (1.3.15) вполне оправдано, так как это соотношение получается как следствие уравнений Максвелла.

## II ГЛАВА. СТРУКТУРА И РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА КРОВИ ПО ЧИЖЕВСКОМУ

### § I. Состав крови

Жизнь высоко-организованных организмов в том числе и человеческого организма невозможна без обеспечения различных органов кислородом и веществами для питания и строительства клеток, а также отвода продуктов их жизнедеятельности.

Все это осуществляется в организме одной из главнейших систем - кровеносной системой, работающей по замкнутому циклу "воздух-кровь-различные органы - кровь-воздух".

Согласно существующим представлениям кровь человека состоит из ряда микроэлементов, находящихся в своеобразном коллоидном растворе.

В человеческом организме имеется около пяти-шести литров крови, из большого числа микроэлементов крови эритроциты или красные кровяные тельца составляют около  $2,7 \cdot 10^{13}$  с суммарной поверхностью около 3000 кв.метров, тромбоциты  $4,5 \cdot 10^{12}$ , лейкоциты  $3,5 \cdot 10^{10}$  и огромного числа белковых мицел с общей поверхностью 400 тыс.кв.метров.

Отметим, что эритроциты составляют 36% от общего объема крови и являются особо выделенными частицами как по своей форме, так и по своим функциям /в норме на 714 эритроцитов приходится только один лейкоцит/.

Многообразны функции эритроцитов-газообмен, регуляция ионного состава плазмы крови, перенос из различных органов продуктов расщепления белков, известны свойства эритроцитов



адсорбировать яды и участвовать в процессах иммунитета и т.д.

Геометрическая форма эритроцита, показана на рис.16.

Средний диаметр эритроцита /нормоцита/ 7-8 микрон, а толщина около 1,5-2 микрон.

Характерна его дисковидная или бисквитообразная форма, которая обладает наибольшей поверхностью по сравнению с шаром такого же объема.

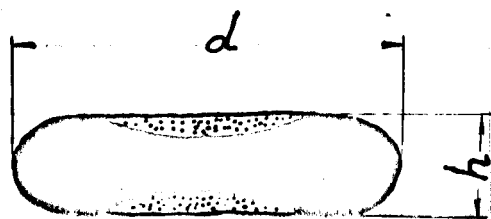


Рис.16. Геометрическая форма эритроцита.

Наличие большей поверхности у эритроцитов дисковидной формы по сравнению с шаром такого же объема обладает безусловным преимуществом в выполнении его основной функции—транспорту газов.

Если рассматривать форму эритроцитов с точки зрения его возможных электрических свойств, то следует обратить особое внимание на том, что она напоминает и повторяет форму наиболее лучших по техническим показателям конденсаторов, используемых в современной электро- и радиотехнике.

Эта аналогия, конечно, не является случайной, а тесно связана и обусловлена его функциями и свойствами кровеносной системы человека в целом.

Возможность выполнять важнейшую функцию организма обеспечивать доставку кислорода различным органам, основана на наличии внутри эритроцита особого пигмента - гемоглобина. (28)

Гемоглобин состоит из бесцветной белковой части - глобина и окрашенной части - гема.

Особенность гема состоит в том, что он в своем составе имеет металл - железо. Наличие железа в сложной молекуле гемоглобина определяет его замечательные свойства связывать и отдавать кислород там, где это необходимо.

Гемоглобин соединяется с кислородом по формуле



т.е. один атом железа связывает одну молекулу кислорода.

Наличие железа в гемоглобине представляет исключительный интерес с точки зрения магнитных свойств крови, на которые еще в 1845 г. обратил внимание М. Фарадей и провел исследования магнитных свойств сухой крови.

Изучение магнитных свойств крови показало, что магнитный момент железа в крови различных животных почти одинаков (28) /5,43, 5,46, 5,35 - магнитные моменты железа в крови коровы, овцы и человека соответственно/. В одном эритроците человека имеется  $29 \times 10^{-12}$  г. гемоглобина при содержании в нем железа 0,335%.

Вторым исключительным и замечательным, по своему значению, свойством эритроцитов является то, что они на своей поверхности /или внутри своего объема/ несут отрицательные заряды.

Указанное свойство считается экспериментально установленным и доказанным, так как оно используется в называемой реакции оседания эритроцитов /РОЭ/.

Подход к анализу процессов в крови, рассматриваемой со всеми взвешенными в ней форменными элементами, как коллоидной системе, не является новыми. Имеется ряд работ, в которых кровь со взвешенными в ней элементами рассматривается как коллоидная система, находящаяся в равновесном состоянии.

Однако только советскому ученому биофизику, профессору А.Л.Чижевскому, последовательно работающего над проблемами крови в течение десятков лет, удалось вплотную подойти к решению вопросов структуры движущейся крови и приподнять завесу над тайной процессов и механизмов, обеспечивающих равновесие и устойчивость работы кровеносной системы человека.

А.Л.Чижевский /1951, 1953, 1959/<sup>(29, 30, 6)</sup> выступил с совершенно новой и оригинальной теорией динамически движущейся крови.

Согласно его представлениям кровь, состоящая из огромного числа частиц, подчинена строгой организации, по крайней мере, для ее главной составной части — красной крови. Эритроциты смешаны не в хаотическом беспорядке, а подчиняются в своей внутренней структуре в кровяном русле организма, строгим законам гидродинамики и электродинамики, что электрический заряд на эритроцитах и его геометрическая форма не случайны, а наоборот, являются следствием многовековой эволюции развития организмов.

Кровеносная система человека является, как показывает в своих работах Чижевский, исключительно стройной физической и геометрической организацией, в которой должны постоянно существовать стабилизирующие факторы, предохраняющие процессы в кровяном русле от перехода в термодинамическое равновесие.

Естественно возникает вопрос о том, как может такая система крови при столь огромном числе ее микроэлементов существовать устойчиво в течение длительного времени. В то же время известно,

что чем сложнее система и чем ее функции разнообразнее, то она менее стабильна и устойчива во времени, если эта система в своей внутренней организации не имеет для ее составных частей собственных систем стабилизации и четкой внутренней организации процессов в пространстве и во времени. Ответ следует искать в динамически движущейся крови по А.Л.Чижевскому.

Основными чертами динамической структуры крови в кровяном русле человека являются следующие: <sup>(6)</sup>

1. Движение крови со всеми ее микроэлементами подчиняются законам гидродинамики.

2. Пространственное расположение эритроцитов в кровяном русле таково, что суммарная поверхность всех эритроцитов в организме человека остается, примерно, инвариантом т.е.

$$S = \sum_i S'_i \approx const \quad (2.1.2)$$

где  $S'_i$  - поверхность одиночного  $i$  - эритроцита.

Это условие отражает тот жизненно важный факт, при котором для стационарного и длительного существования организма необходима примерно постоянная во времени скорость поступления кислорода к клеткам организма и соответствующая скорость отвода ненужных продуктов жизнедеятельности.

Возможность существования предельно большой суммарной поверхности эритроцитов как инварианта во времени обеспечивается не только движением эритроцитов под действием сердца как насоса, но характерной особенностью их электромагнитных полей, при которой в трехмерном пространстве сосуда эритроциты остаются изолированными друг от друга.

3. Возникновение динамически устойчивой структуры эритроцитных колец при постоянстве гидродинамических сил <sup>(возможно)</sup> лишь при некоторой предельной концентрации эритроцитов в единице объема и определенном числе элементарных зарядов внутри объема или на поверхности одиночного эритроцита.

## § 2. Особенности кинематики эритроцитов (6)

Движение крови по замкнутому циклу "воздух-кровь- различные органы- кровь-воздух" происходит под действием сердца, работающего как насос и эластичных сокращений сосудистых стенок артерий и вен, сообщающих крови кинетическую энергию.

Кровеносная система человека является очень сложной системой, величина плотности энергии в различных сечениях сосудистого русла меняется в широких пределах. Достаточно указать на то, что скорость крови по сосудам представляет величину, изменяющуюся в широком диапазоне при переходе от одного сосуда к другому. Так, например, скорость крови в аорте составляет 500 мм/сек., а в мелких артериях 40-50 мм/сек., в капиллярах она меньше в 600-800 раз, чем в крупных сосудах.

Учитывая, что кровь не является жидкостью, а представляет в большей степени сложный коллоидный раствор, то использование законов гидродинамики безусловно является уже приближением и носит без экспериментальной проверки качественный характер.

Использование критериев Рейнольдса показывает, что ламинарное движение жидкости происходит тогда, когда скорости движения жидкости  $V$  меньше так называемой нижней критической скорости

$V_{кр}$ , определяемой как

$$V_{кр.н} = \frac{Re}{d} \frac{\eta}{\rho} \text{ см/сек} \quad (2.2.1)$$

Турбулентное движение происходит тогда, когда скорость движения жидкости будет больше так называемой верхней критической скорости  $V_{кр. в}$

$$V_{кр. в} = \frac{Re}{d} \frac{\eta}{\delta} \times 1,3 \text{ см/сек} \quad (2.2.3)$$

где  $Re$  - число Рейнольдса, равное 2000-2300, для круглых труб с гладкими стенками,

$d$  - диаметр трубы в см,

$\eta$  - коэффициент вязкости жидкости,

$\delta$  - удельная плотность жидкости,

$\frac{\eta}{\delta} = \nu$  - называется кинетической вязкостью.

Кинетический коэффициент вязкости цельной крови

$$\nu = \frac{\eta}{\delta} = \frac{0,035}{1,06} = 0,0321$$

$\eta = 0,035$  - вязкость цельной крови в пуазах при  $t = 37^\circ$ ,

$\delta$  - удельный вес цельной крови, равный  $1,06 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Применение критериев Рейнольдса показывает, что

1. Турбулентный режим кровотока начинается в области сердца и заканчивается в сосудах, имеющих диаметр около 21 мм.

2. В сосудах, имеющих диаметры в интервале 21-18 мм, имеет место неустойчивый режим.

3. Ламинарный режим начинается в сосудах, имеющих 18 мм и сохраняется до самых узких капилляров.

Вопрос о кинематике эритроцитов в кровеносном русле является крайне важным, так как форма эритроцита и его физиологические функции тесно связаны с особенностями его движения.

Повидимому следует предполагать, что в сосудах не только с ламинарным характером движения, но и с турбулентным имеет место

постоянная тенденция к упорядочиванию пространственной структуры эритроцитов и, вероятно, вопрос о просто о хаотическом расположении эритроцитов следует считать исключенным ввиду действия упорядоченных по направлениям в пространстве сосудов сил гидродинамического и электромагнитного характера.

Тенденция к упорядоченному расположению эритроцитов при ламинарном потоке крови в сосудах обусловлена рядом важных гидродинамических факторов, обусловленных спецификой геометрии эритроцита.

Превалирование диаметра эритроцита над его толщиной, почти в четыре раза, обуславливает его движение в слоях крови разных скоростей, т.е. имеется разность скоростей кровотока относительно различных точек эритроцита.

Эта же особенность формы эритроцита приводит к тому, что он становится в потоке крови в такое положение, когда его обтекаемость максимальна, а сопротивление движению потока плазмы крови будет минимальной.

Наличие градиента скоростей на размерах эритроцита и трения его о плазму крови должно приводить к появлению сил и моментов сил, действующих на рассматриваемый эритроцит.

Рассмотрим три возможные схемы предполагаемого размещения эритроцитов в потоке плазмы крови.

#### Первая схема

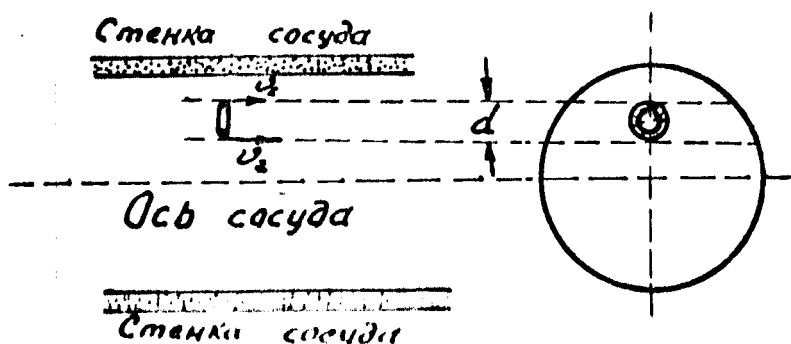


Рис. 17.

К эритроциту, расположенному перпендикулярно потоку плазмы крови, будет приложена сила

$$F = \Delta v \cdot \tau \cdot S, \quad (2.2.4)$$

где  $\Delta v$  - разность скоростей плазмы крови для двух диаметрально противоположных точек,

$\tau$  - коэффициент трения потока плазмы о боковую поверхность эритроцита

$S$  - величина боковой поверхности эритроцита.

Сила при таком положении эритроцита будет создавать опрокидывающий момент равный

$$M = F \cdot d_0 \quad (2.2.5)$$

где  $d_0$  - диаметр эритроцита.

Ясно из приведенных рассуждений, что такое положение эритроцита будет неустойчивым, а расположение эритроцитов в сечении сосудов, маловероятным. (рис. 18)

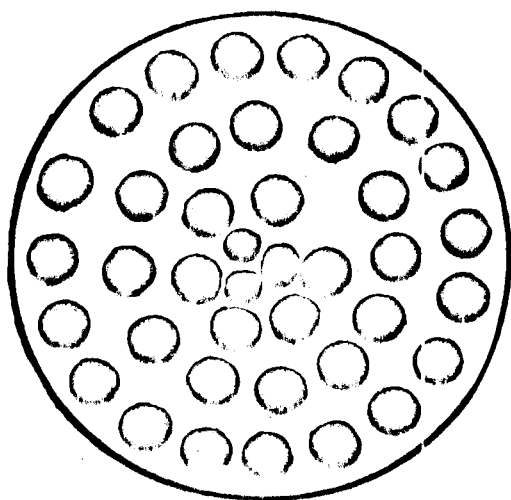


Рис. 18.



Вторая схема

Расположение эритроцитов в потоке плазмы показано на рис. 19.

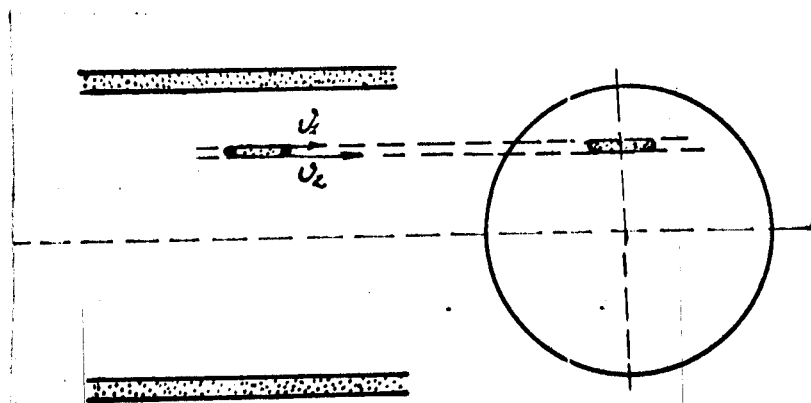


Рис. 19.

Разность скоростей  $\Delta V = V_2 - V_1$  обусловлена градиентом скоростей по толщине эритроцита и создает на плоской поверхности эритроцита силу

$$F = \Delta v \cdot \sigma \cdot S \quad (2.2.6)$$

и опрокидывающий момент

$$M = F \cdot h \quad (2.2.7)$$

где  $h$  - толщина эритроцита, действующая против движения, так как опрокидыванию препятствуют соседние слои плазмы крови.

Предполагаемое расположение эритроцитов в этой схеме показано на рис. 20.

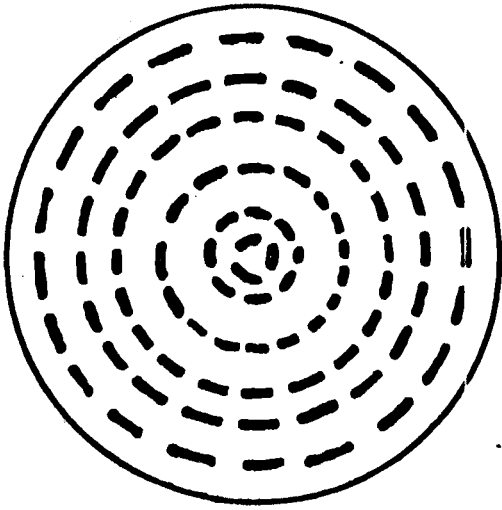


Рис. 20.

Вторая схема расположения эритроцитов в сравнении с первой обладает явным преимуществом и большей устойчивостью.

Третья схема

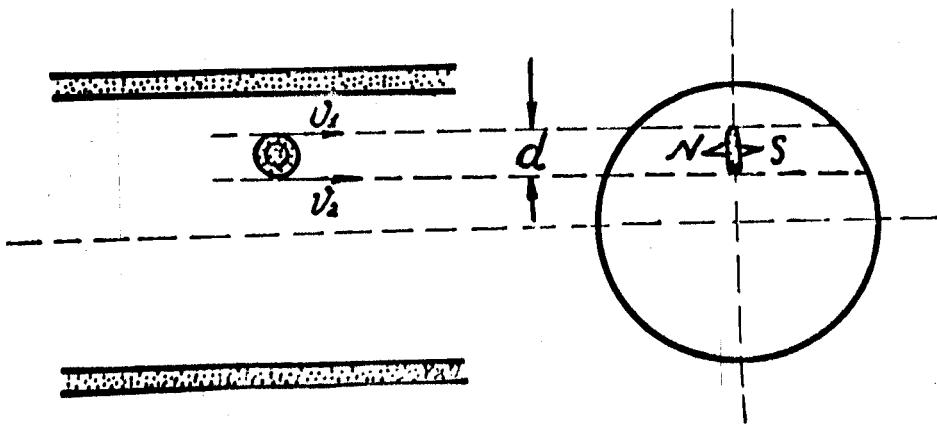


Рис. 21.

В этой схеме эритроцит движется узкой стороной в соответствии с максимальной обтекаемостью и минимальным сопротивлением потоку плазмы крови. Соответствующее движение эритроцита схематически показано на рис. 21.

При этом на боковые поверхности эритроцита будет действовать сила и момент вида

$$F = \Delta v \cdot \tau \cdot S \quad (2.2.8)$$

$$M = F \cdot d_0 \quad (2.2.9)$$

который вызывает вращение эритроцита вокруг своего мгновенного центра. Данная схема расположения эритроцита обладает безусловными преимуществами в сравнении с двумя первыми.

Основными преимуществами расположения эритроцитов в последней схеме являются:

1) наличие вращательного движения эритроцита, обусловленного эффектом разности скоростей по диаметру эритроцита вокруг мгновенного центра,

2) появление вращения у эритроцитов вокруг выделенного направления представляет крайне важный факт, так как при этом расположение эритроцитов наиболее устойчиво и поддерживается микроскопическим стабилизирующим эффектом.

Крайне важным фактом является то, что вращение эритроцитов, имеющих внутри своего объема или на своей поверхности элементарные заряды, приводит к возникновению совершенно нового качества — индивидуального магнитного поля эритроцита. Последнее свойство позволяет рассматривать каждый эритроцит как "элементарный" магнитик, а кровь

текущую по сосудам человеческого организма—как жидкость обладающую электрическими и магнитными свойствами.

Во второй схеме расположения эритроцитов эффект разности скоростей может выводить эритроцит из положения равновесия, но не сообщать ему вращения — одного из наивыгоднейших видов движения, сопровождающегося, как правило, минимальным трением при минимальной затрате энергии.

Из анализа приведенных схем расположения эритроцитов следует согласиться с теорией А.Л.Чижевского, согласно которой наиболее вероятной схемой будет та, при которой в сечении сосуда обеспечивается максимальное рассредоточение эритроцитов, что имеет место в радиально-кольцевой модели, показанной схематически на рис. 22.

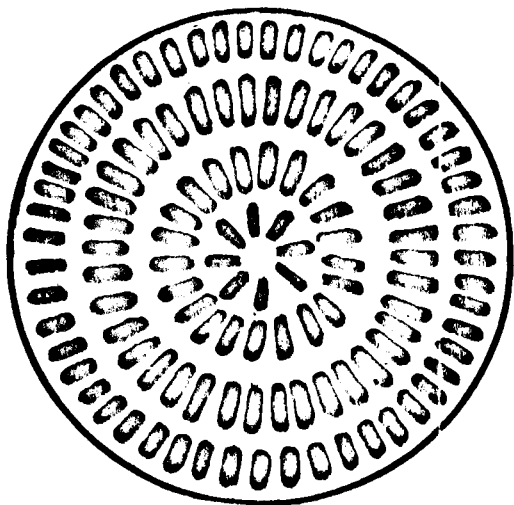


Рис. 22.

Существенным другим доводом в пользу радиально-кольцевой модели, являются расчеты А.Л.Чижевского концентрации эритроцитов в единице объема крови. Эти расчеты приводят, что в радиально-кольцевой модели расположения эритроцитов с определенными промежутками между ними в кольце и между кольцами в ортогональном сечении сосуда, должна быть нормальная концентрация эритроцитов /  $5 \cdot 10^6$  эритроцитов в  $1 \text{ мм}^3$  /.

Наблюдающиеся только в свежих мазках крови монетные столбики эритроцитов являются обломками упорядоченной радиально-кольцевой структуры крови, сформировавшиеся под действием гидродинамических и электромагнитных факторов, играющих основную роль в деятельности сердечно-сосудистой системы человека.

Для приближенного вычисления числа оборотов эритроцита в единицу времени заменим параболическое распределение скоростей, которое имеет место при ламинарном потоке крови, по диаметру эритроцита линейным, полагая, что скорость его центра тяжести определяется как

$$V_c = \frac{V_{A_1} + V_{A_2}}{2}, \quad (2.2.10)$$

где  $V_{A_1}$  и  $V_{A_2}$  - скорости потока крови для двух диаметрально расположенных точек  $A_1$  и  $A_2$  соответственно.

С учетом того, что распределение скоростей в ортогональном сечении имеет параболический вид, получим приближенное выражение для скорости центра эритроцита в виде

$$V_c \approx 2V_{cp} \left[ 1 - \left( \frac{z}{R} \right)^2 - \frac{d_0^2}{4R^2} \right], \quad (2.2.11)$$

где  $z$  - координата центра эритроцита, отчитанная от оси сосуда,  $d_0$  - диаметр эритроцита.

Зная скорость эритроцита для его центра и точки  $A_I$ , легко найти число оборотов в единицу времени с помощью соотношения

$$n \approx \frac{v_{H_2} - v_c}{\pi d_0} \quad (2.2.12)$$

Из уравнения получим очень простое выражение для числа оборотов эритроцита вокруг своего центра в единицу времени

$$n \approx \frac{2v_{cp}}{\pi R} \frac{z}{R} \quad (2.2.13)$$

т.е. число оборотов линейно растет по мере удаления от оси сосуда.

Максимальное число оборотов имеет место, когда  $z = R - d_0/2$ , т.е.

$$n_{\max} \approx \frac{2v_{cp}}{\pi R} \left[ 1 - \frac{d_0}{2R} \right] \quad (2.2.14)$$

При условии, что  $d_0 \ll R$ , а это справедливо для большого диапазона размеров артерий и вен, имеем

$$n_{\max} \approx \frac{2v_{cp}}{\pi R} \quad (2.2.15)$$

Напомним, что ламинарный поток в соответствии с критерием Рейнольдса существует в сосудах с диаметром равным и менее 18 мм, сохраняясь вплоть до самых узких капилляров.

В центре сосуда число оборотов равно нулю, что отражает параболический характер распределения скоростей по ортогональному сечению сосуда. Возможность замена параболического распределения скоростей по диаметру эритроцита линейным распределением вытекает из того, что  $d_0 \ll R$  справедливо в сосудах радиусом в десятые доли мм, так как диаметр нормоцита / среднего по размерам эритроцита / составляет всего  $8 \cdot 10^{-4}$  см.

§ 3. Замечания по расчету гидродинамической силы  
действующей на эритроцит

Рассмотрим движение крови в кровеносном сосуде радиуса  $R$ , ось  $Z$  будем предполагать направленной вдоль прямолинейного и безграничного сосуда.

(31)  
 Тогда из уравнений Стокса при пренебрежении массовыми силами и учете симметрии потока плазмы крови

$$V_x = V_y = 0, \quad V_z = V(z) \quad (2.3.1)$$

имеем, что

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \eta \left( \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{z} \frac{dV}{dz} \right) \quad (2.3.2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial z} = 0 \quad (2.3.3)$$

Так как в соотношении (2.3.2) левая часть является функцией только  $Z$ , а правая часть - только  $z$ , то можно положить

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \text{const} = - \frac{P_0 - P_1}{L} \quad (2.3.4)$$

Общее решение (2.3.2) можно представить следующим образом (31)

$$V = \frac{1}{4\eta} \frac{\partial P}{\partial z} z^2 + C_1 \ln z + C_2$$

Постоянные  $C_1$  и  $C_2$  определим из очевидных условий, что при  $z = 0$  скорость течения должна быть ограничена, т.е.  $C_1 = 0$ , а при определении  $C_2$  используем граничное условие  $V = 0$  при  $z = R$

Отсюда

$$v = -\frac{1}{4\eta} \frac{\partial P}{\partial z} (R^2 - z^2) \quad (2.3.6)$$

Для секундного расхода жидкости получим

$$U = \int_0^R v 2\pi z dz = -\frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.3.7)$$

Из условия (2.3.7) можно найти среднюю скорость в любом сечении кровеносного сосуда

$$V_{cp} = \frac{U}{\pi R^2} = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.3.8)$$

С учетом (2.3.8) для распределения скоростей из (2.3.6) получим

$$V = 2V_{cp} \left[ 1 - \frac{z^2}{R^2} \right] \quad (2.3.9)$$

а для перепада давлений

$$-\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{P_2 - P_1}{l} = \frac{8\eta V_{cp}}{R} \quad (2.3.10)$$

Теоретические расчеты по формулам (2.3.9) и (2.3.10) дают прекрасное совпадение с результатами опытов.

Мы привели здесь подробный вывод распределения скоростей крови в ортогональном к потоку сечении сосуда, чтобы показать, что на эритроцит не будет действовать гидродинамическая сила, направленная к оси сосуда ( $z = 0$ ), так как при ламинарном движении вязкой жидкости перепад давлений по радиусу равен нулю т.е.  $\partial P / \partial r = 0$



Это означает, что гидродинамическая сила, стремящая прижать эритроциты к оси сосуда, может возникнуть только за счет вращения эритроцита вокруг своей оси и создания вокруг каждого эритроцита вихревого движения плазмы крови.

При таких условиях определение гидродинамической силы не является простой задачей и в настоящее время выходит за рамки данной работы.

#### § 4. Электростатическое отталкивание двух изолированных эритроцитов

Знание электромагнитных свойств крови является одной из фундаментальных проблем биофизики, так как оно позволяет приступить к поискам действенных мер борьбы с нарушениями венозного кровообращения — одной из самых острых проблем современности, решение которой нет и по сей день.

Электромагнитные свойства крови прежде всего обусловлены тем, что на поверхности эритроцита или внутри его объема имеется довольно значительное число электронов, а также особой формой, при которой эритроцит под действием гидродинамических факторов из-за вращения вокруг своей оси становится магнитиком.

В этой связи форма эритроцита безусловно не является случайной, а отражает специфические закономерности снабжения и переноса кислорода к клеткам и отвода продуктов их жизнедеятельности, в которой гидродинамические и электромагнитные факторы являются определяющими.

Вопрос о внутренней структуре эритроцита, распределении в нем зарядов является крайне сложным и в этой работе совсем не затрагивается.

В дальнейшем при анализе электромагнитных свойств будем рассматривать эритроцит в виде цилиндрика с равномерным распределением зарядов внутри его объема или круглого витка с постоянной линейной плотностью зарядов по длине его окружности.

Выбор той или иной в электрическом отношении модели эритроцитов основывается прежде всего на стремлении наиболее просто и доступно рассчитать электрические и магнитные характеристики крови, пытаясь понять и сохранить основные черты физических закономерностей, обуславливающих работу кровеносной системы высокоорганизованных организмов.

Так при анализе радиальной устойчивости более удобно эритроцит рассматривать как заряженный виток, а при качественном рассмотрении азимутальной устойчивости как заряженный цилиндр конечной величины.

Как в первом, так и втором случаях с физической точки зрения обе модели распределения зарядов внутри эритроцита являются эквивалентными друг другу, ибо при анализе условий устойчивости движения эритроцитов под действием электромагнитных и гидродинамических сил их размер всегда остается значительно меньшим по сравнению с радиусом сосуда, а суммарный эффект воздействия сил прежде всего определяется общим числом элементарных зарядов или объемной плотностью зарядов и плотностью токов, при нахождении которых характер распределения зарядов внутри эритроцита является второстепенным фактором.

Для вычисления сил отталкивания между двумя эритроцитами будем рассматривать каждый эритроцит как круглый виток эквивалентного радиуса  $z_0 = 3,37 \cdot 10^{-6}$  метра (по данным Чижевского) и несущей

на своей окружности заряд  $Q_c$ , определяемый как

$$Q_c = 2\pi z_0 \sigma_e \quad (2.4.1)$$

где  $\sigma_e$  - линейная плотность зарядов.

При расчете сил будем предполагать также, что эритроциты в простейшем случае располагаются концентрично относительно друг друга с общей осью, как показано на рис. 23

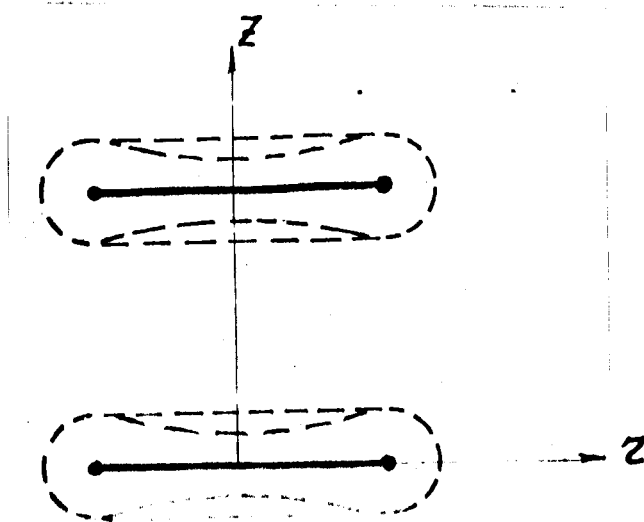


Рис. 23.

/пунктиром условно показана форма эритроцита, толстой линией эквивалентный ему виток/. Тогда потенциал, созданный заряженным витком в пространстве можно записать в виде

$$U = \frac{\sigma_e}{4\pi\epsilon} \int_0^{2\pi} \frac{z_0 d\varphi'}{\sqrt{z_0^2 + z^2 + z'^2 - 2z_0 z \cos\varphi'}} \quad (2.4.2)$$

где  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная крови, в системе

$z_0$  - радиус витка,

$z, z'$  - координаты точки наблюдения.

Переходя к новым переменным  $\varphi' = \pi + 2\beta$  получим

$$U = \frac{\sigma_e}{4\pi\epsilon} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \frac{z_0 d\beta}{\sqrt{(z_0 + z)^2 + z^2 - 2z_0 z \cos(1+\beta)}} \quad (2.4.3)$$

Компоненты поля найдем из условия

$$\vec{E} = -\text{grad} U \quad (2.4.4)$$

Из соотношения (2.4.4) имеем для составляющих напряженности электрического поля

$$E_x = \frac{\sigma_e z_0}{\pi \epsilon} \int_0^{\pi/2} \frac{z d\beta}{[(z_0+z)^2 + z^2 - 4z_0 z \sin^2 \beta]^{3/2}} \quad (2.4.5)$$

$$E_z = \frac{\sigma_e z_0 z}{\pi \epsilon} \int_0^{\pi/2} \frac{[(z_0+z) - 2z_0 \sin^2 \beta] d\beta}{[(z_0+z)^2 + z^2 - 4z_0 z \sin^2 \beta]^{3/2}} \quad (2.4.6)$$

В последующем будем интересоваться полем только при  $z = z_0$ , что соответствует случаю, когда эритроциты строго сосны.

В случае вертикальной составляющей поля, обуславливающей отталкивающую силу  $F_z^{\text{эл}}$ , имеем

$$E_z = \frac{\sigma_e z_0 z}{\pi \epsilon [4z_0^2 + z^2]^{3/2}} \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{[1 - k_1^2 \sin^2 \beta]^{3/2}} \quad (2.4.7)$$

или 
$$E_z = \frac{\sigma_e z_0}{\pi \epsilon z [4z_0^2 + z^2]^{3/2}} E\left(k_1, \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.4.8)$$

где 
$$k_1^2 = \frac{4z_0^2}{4z_0^2 + z^2}$$

$E(k_1, \frac{\pi}{2})$  - полный эллиптический интеграл I-го рода.

При  $k=1$  можно для вычисления вертикальной составляющей напряженности электрического поля воспользоваться разложением эллиптического интеграла I-го рода в ряд по степеням

$$E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) \approx 1 + \frac{1}{2} \left(\Lambda - \frac{1}{2}\right) k'^2 + \dots \approx 1 \quad (2.4.9)$$

где  $k'^2 = 1 - k^2 = 0, \Lambda = \ln \frac{4}{k'^2}$

Знание электростатического поля позволяет найти силу отталкивания двух изолированных соосных эритроцитов.

На элемент дуги второго эритроцита будет действовать элементарная сила

$$dF_z = dQ_0 E_z(z_0, z) = \sigma_2 z_0 d\varphi' E_z(z_0, z) \quad (2.4.I0)$$

а на весь эритроцит

$$F_z = \int_0^{2\pi} \sigma_e z_0 l_z d\varphi' = 2\pi z_0 \sigma_e E_z(z_0, z) \quad (2.4.II)$$

Учитывая, что на эритроците сосредоточен заряд  $Q_0 = 2\pi z_0 \sigma_e$  соотношение (2.4.II) можно переписать как

$$F_z^{ан} = \frac{Q_0^2}{2\pi^2 \epsilon^{су} z [4z_0^2 + z^2]^{1/2}} E(k_1, \frac{\pi}{2}) \quad (2.4.I2)$$

В заключение следует отметить, что определение сил расталкивания между двумя эритроцитами имеет смысл, когда эритроциты изолированы друг от друга. Если же они замкнуты /собраны/ в круговые замкнутые цепочки, то следует ожидать частичной компенсации расталкивающих электростатических сил из-за азимутальной симметрии в расположении эритроцитов в круговой цепочке.

Характер распределения электростатических и магнитных сил будет рассмотрен отдельно.

Выражение (2.4.I2) представлено в системе  $СЦ$ , где расстояния  $z$  выражаются в метрах, заряд в кулонах, 1 кулон содержит  $0,6 \cdot 10^{19}$  электронов, а сила расталкивания  $F_z$  выражается в ньютонах при диэлектрической постоянной крови  $\epsilon^{су} = \epsilon^{су} \cdot 10^{11} / 4 \pi^2$

Для перехода при вычислениях в систему  $СГС$  необходимо силу  $F_z$  выразить в динах, воспользовавшись соотношением

$$1 \text{ ньютон} = 10^5 \text{ дин} \quad (2.4.I3)$$

либо формулу (2.4.I2) переписать в системе в следующем

$$F_z = \frac{2}{\pi} \frac{Q_0^2}{\epsilon^{су} z [4z_0^2 + z^2]^{1/2}} E(k_1, \frac{\pi}{2}) \quad (2.4.I4)$$

где заряд  $Q_0$  выражен в электростатических единицах,  $z, z_0$  в см, а  $\epsilon^{CGSE}$  — диэлектрическая постоянная крови в системе CGSE равная 85,5.

### § 5. Магнитное притяжение двух изолированных эритроцитов

В данном рассмотрении будем предполагать, что вращающийся эритроцит, имеющий на своей поверхности элементарные заряды, эквивалентен виточку радиуса  $z_0$  с током  $I_0$ , который следующим образом связан с количеством элементарных зарядов и числом оборотов в одну сек. вокруг своей оси

$$I_0 = nQ_0 = 11 \Lambda^{\epsilon} \quad 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ ампера} \quad (2.5.1)$$

Магнитное поле, создаваемое витком с током можно описать с помощью следующих выражений

$$B_z = \frac{4I_0}{2\pi} \frac{z}{z[(z_0+z)^2+z^2]^{3/2}} \left[ F(k, \frac{\pi}{2}) + \frac{z_0^2+z^2+z^2}{(z_0-z)^2+z^2} E(k, \frac{\pi}{2}) \right] \quad (2.5.2)$$

$$B_x = \frac{4I_0}{2\pi} \frac{1}{[(z_0+z)^2+z^2]^{3/2}} \left[ F(k, \frac{\pi}{2}) + \frac{z_0^2-z^2-z^2}{(z_0-z)^2+z^2} E(k, \frac{\pi}{2}) \right], \quad (2.5.3)$$

где  $k^2 = \frac{4z_0z}{[(z_0+z)^2+z^2]}$

Отметим, что при  $z = 0$

$$B_z \equiv 0, \quad B_x = \frac{1/2 \mu_0 z_0^2 I_0}{(z_0+z^2)^{3/2}} \quad (2.5.4)$$

Рассмотрим взаимодействие витков, когда они соосны (см. рис. 23).

В этом случае сила взаимодействия будет определяться

как 
$$\vec{F} = I_0 \vec{\nabla} \int_S \vec{n} \cdot \vec{B} dS \quad \text{или} \quad (2.5.5)$$

после преобразования

$$F = I_0 \oint d\vec{S} \times \vec{B} = I_0 \oint B \sin \epsilon dS \quad (2.5.6)$$

где  $\epsilon < \pi$  - угол отсчитываемый от  $d\vec{S}$  и  $\vec{B}$

Вследствие симметрии и одинакового направления токов сила взаимодействия между магнитными полями эритроцитов будет силой притяжения.

Компонента поля, которое определяет силу притяжения, будет  $B_z$ . Характерно, что для соосных витков величина компоненты  $B_z$  будет одинакова для всех элементов.

Поскольку токи в обоих контурах одинаковы, то сила определится как

$$F_z^M = J_0 B_z(z_0, z=z_0, z) z_0 \int_0^{2\pi} d\varphi = 2\pi z_0 J_0 B_z(z_0, z=z_0, z) \quad (2.5.7)$$

Подставляя значение компоненты  $B_z(z_0, z, z)$  из (2.5.2), окончательно получим

$$F_z^M = \frac{4 J_0^2 z^2}{[4z_0^2 + z^2]^{3/2}} \left\{ -F(k_1, \frac{\pi}{2}) + \frac{2z_0^2 + z^2}{z^2} E(k_1, \frac{\pi}{2}) \right\} \quad (2.5.8)$$

где 
$$k_1^2 = \frac{4z_0^2}{4z_0^2 + z^2}$$

Представляет большой интерес оценить по порядку величины электростатические силы магнитного притяжения эритроцитов из следующего соотношения

$$F_z^M / F_z^{эп} = f(n, z, z_0) \quad (2.5.9)$$

При этом будем иметь ввиду, что

$$J_0^{эп} = J_0^{стекл} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}$$

Из соотношений (2.4.12) и (2.5.7) найдем, что

$$\left| \frac{F_z^M}{F_z^{эп}} \right| = \frac{2\pi^2 z^2 \cdot 11^2 \cdot 10^4 \cdot 85,5 \cdot 1}{c^2} \left\{ -\frac{F(k_1, \frac{\pi}{2})}{E(k_1, \frac{\pi}{2})} + \frac{2z_0^2 + z^2}{z^2} \right\} \quad (2.5.10)$$

Так как эквивалентный радиус эритроцита  $z_0 = 3,7 \cdot 10^{-6}$  метра,

то равенство сил возможно, когда эллиптический интеграл второго рода  $F(k_1, \frac{\pi}{2})$  уходит в бесконечность, т.е. когда  $k_1 \rightarrow 1$

Если разложить эллиптический интеграл при  $K_1 = I$ , то

$$F(k, \frac{\pi}{2}) = \Lambda + \frac{\Lambda - 1}{4} k_1^2 + \dots, \quad (2.5.II)$$

где  $\Lambda = C_{11} \frac{4}{k_1}$   $k_1^2 = 1 - k^2$

При соотношениях  $\frac{z}{z_0} \geq 0,5$  из выражения (2.5.9)

следует, что электростатическое расталкивание не может быть уравновешено электромагнитным притяжением. Значение параметра  $z_0/c_0 = 0,5$  соответствует такому положению, когда эритроциты находятся вплотную к друг другу.

Следует отметить, что подобное рассмотрение баланса электростатических и магнитных сил для двух изолированных эритроцитов не отражает предполагаемой радиально-кольцевой структуры эритроцитов при их движении в сосуде и связанных с ними электромагнитных сил. Если считать доказанным, что на поверхности эритроцитов имеются отрицательные заряды, то помимо гидродинамических сил, основными силами будут силы, обусловленные взаимодействием заряженного эритроцита с магнитным и электростатическим полями, получающимися в результате коллективного движения в кровеносном сосуде всей совокупности эритроцитов с заданной концентрацией их в единице объема.

### § 6. Взаимодействие эритроцита с магнитным полем кровеносного сосуда

Известно, что силы, действующие в заданном магнитном поле на небольшую проволочную петлю с током  $I_c$  можно записать в следующем виде <sup>(22)</sup>

$$d\vec{F} = I_c (\vec{n} \nabla) \vec{B} dS, \quad (2.6.I)$$

где  $\vec{n}$  - единичный вектор направленный к поверхности  $S$  по нормали,  $dS$  - элемент площади рассматриваемой петли.



Равенство (2.6.1) отражает тот факт, что маленькую петлю можно рассматривать как магнитный диполь.

В дальнейших преобразованиях воспользуемся тем, что существует следующее векторное равенство

$$\begin{aligned} \vec{\nabla}(\vec{n} \cdot \vec{B}) &= (\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{n} + [\vec{B} [\vec{\nabla} \vec{n}]] + (\vec{n} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} + \\ &+ [\vec{n} [\vec{\nabla} \cdot \vec{B}]] = (\vec{n} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} + [\vec{n} \text{ rot } \vec{B}] \end{aligned} \quad (2.6.2)$$

так как оператор  $\vec{\nabla}$  не действует на  $\vec{n}$ , то первые два члена обращаются в нуль

Отсюда:

$$(\vec{n} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} = \vec{\nabla}(\vec{n} \cdot \vec{B}) - [\vec{n} \cdot \text{rot } \vec{B}] \quad (2.6.3)$$

Учитывая соотношение (2.6.3) и выражение (2.6.1) можно переписать в следующем виде

$$d\vec{F} = \gamma_c \vec{\nabla}(\vec{n} \cdot \vec{B}) dS - \gamma_c [\vec{n} \cdot \text{rot } \vec{B}] dS \quad (2.6.4)$$

Предполагаем, что в рассматриваемом случае

$$\text{rot } \vec{B} = \mu \vec{j}, \quad (2.6.5)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость крови в системе,  
 $\vec{j}$  — плотность тока в кровеносном сосуде

Система координат выбрана следующим образом:

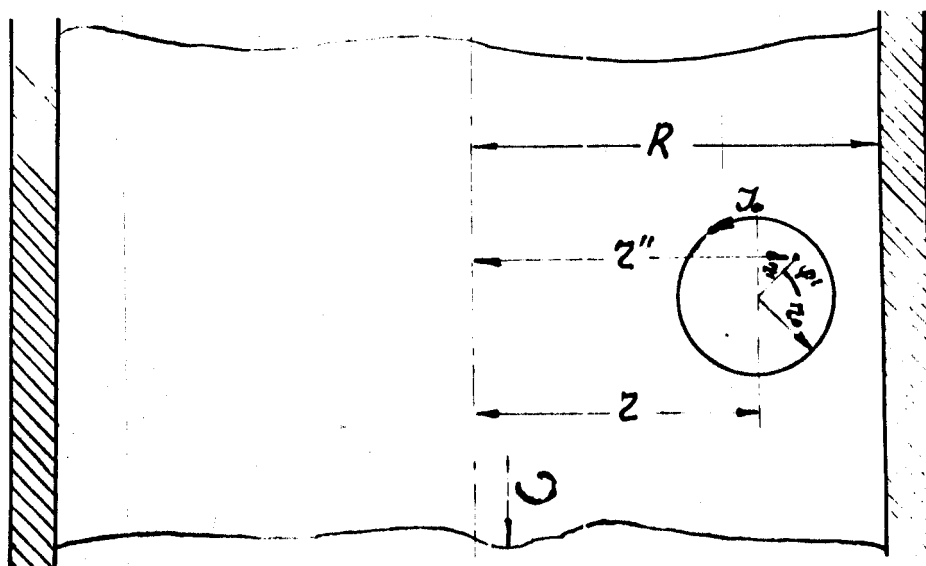


Рис. 24.

В направлении оси  $Z$  течет поток крови с током  $J$  и плотностью тока  $j = \frac{J}{\pi R^2}$ , где  $R$  - радиус сосуда.

Внутри сосуда рассмотрим эритроцит с эквивалентным радиусом  $z_0$ , по поверхности которого течет ток  $J_0$ , связанный с зарядом на эритроците и скоростью вращения относительно его центра соотношением (2.5.1).

Полагая, что в магнитном отношении эритроцит можно заменить витком с током ~~.....~~, можно написать полную силу  $\vec{F}$ , действующую на такой виток как

$$\vec{F} = J_0 \vec{V} \int_3 \vec{n} \vec{B} dS - J_0 \int_3 [\vec{n} \text{ rot } \vec{B}] dS \quad (2.6.6)$$

Распределение индукции внутри кровеносного сосуда имеет вид

$$B_z = c, \quad B_r = c, \quad B_\varphi = \frac{\mu J z''}{2\pi R^2}, \quad (2.6.7)$$

где  $z''$  - координата произвольной точки внутри сосуда.

Полагая, что эритроцит занимает строго радиальное положение, получим  $\vec{n} \vec{B} = B_\varphi$ . Так как интегрирование производится по контуру эритроцита, то зависимость индукции  $B_\varphi$  от  $z'$  можно представить следующим образом (см. рис. 24)

$$B_\varphi = \frac{\mu J (z + z' \cos \varphi')}{2\pi R^2}, \quad (2.6.8)$$

где  $z$  - координата центра эритроцита,

$z', \varphi'$  - координаты переменной точки интегрирования по контуру эритроцита.

Раскрывая подынтегральные функции в соотношении (2.6.6)

и учитывая, что в нашем случае  $[\vec{n} \text{ rot } \vec{B}]_z = (\text{rot } \vec{B})_z$

получим для силы, действующей на эритроцит следующее выражение

$$\vec{F} = \vec{V} \left( \frac{\mu J M_0 z}{2\pi R^2} - \frac{2\mu J_0 M_0}{2\pi R^2} \right), \quad (2.6.9)$$

где  $M_0 = J_0 \pi z_0^2$  - магнитный момент,  $z_0$  - радиус эритроцита.

Из выражения (2.6.9) получим только одну компоненту  
силы

$$F_2^M = - \frac{\mu J M_0}{2\pi R^2} \quad (2.6.10)$$

Из полученного уравнения (2.6.10) видно, что взаимодействие магнитного поля эритроцита с магнитным полем сосуда, которое образуется от движения в нем всех заряженных микроэлементов крови, приводит к появлению радиальной силы, направленной к центру сосуда.

Помимо силы  $F_2^M$  на виток с током или на вращающийся эритроцит, имеющий на своей поверхности заряд, действует крутящий момент

$$\vec{N} = [\vec{M}_0 \vec{B}] \quad (2.6.11)$$

При строго радиальном положении эритроцита момент сил, определяемой соотношением (2.6.11), равен нулю.

Этот эффект подобен тому действию, которое оказывает магнитное поле Земли на стрелку компаса, когда ее отклоняют от положения равновесия. При таком отклонении со стороны магнитного поля Земли начинает действовать на стрелку момент сил, определяемой уравнением (2.6.11), до тех пор, пока он не станет равным нулю, а при отклонении положение эритроцита от радиального на него начинает действовать помимо гидроскопического момента, момент сил, стремящихся возвратить его в строго радиальное положение.

Максимальный крутящий момент получим тогда, когда между направлением индукции  $B$  и плоскостью, в которой находится эритроцит, обладающий магнитным моментом  $M_0$ , будет прямой угол  $(\frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi)$  так как в этом случае крутящий момент

$$N = BM_0 \quad \text{в} \quad (2.6.12)$$

Еще раз подчеркнем, что крутящий момент  $N$  при строго радиальном положении эритроцита тождественно равен нулю.

Таким образом, наличие элементарных зарядов /электронов/ на поверхности микроэлементов крови и их характер движения в кровеносном сосуде, а именно: вращение эритроцитов вокруг своей оси и прямолинейное движение потока всей крови приводит к появлению магнитных полей эритроцитов и магнитного поля сосуда, взаимодействие между которыми обуславливает /в пространстве кровеносного сосуда/ радиальную силу, действующую на эритроциты в направлении оси сосуда, и крутящего момента, возвращающего эритроциты в строго радиальное положение.

### § 7. Взаимодействие эритроцита с электростатическим полем сосуда

При вычислении сил электростатического отталкивания, обусловленных наличием элементарных зарядов на эритроцитах и на других микроэлементах крови, будем предполагать, что 1/ сосуд имеет круглое сечение и безграничен в обе стороны; 2/ полный заряд эритроцита распределен по кругу радиуса ; 3/ распределение всех зарядов внутри сосуда равномерно.

При этих предположениях формулы для компонент электростатического поля легко получить с помощью теоремы Гаусса, либо представить их в обобщенной форме, как это сделано в работе (33)

$$E_z = E_\varphi = 0 \quad (2.7.1)$$

$$E_z = \frac{\sigma_v}{4\pi\epsilon_{cu}} \left\{ \pi z [\text{sign}(R-z) + 1] + \frac{\pi R^2}{z} [1 - \text{sign}(R-z)] \right\} \quad (2.7.2)$$

где  $z$  - координата точки, в которой рассматривается поле,

$\epsilon$  - диэлектрическая постоянная крови в системе,

$\sigma_v$  - объемная плотность заряженных частиц крови,

$\text{sign}$  - математический символ, определяемой как

$$\text{sign } x = 1$$

$$\text{sign } = 0$$

$$x > 0$$

$$x < 0$$

$R$  - радиус кровеносного сосуда.

Из выражения (2.7.2) легко найдем, что внутри сосуда напряженность электростатического поля при  $z < R$

$$E_z = \frac{\sigma_v z}{2\epsilon_{cu}} \quad (2.7.3)$$

и вне сосуда при

$$E_z = \frac{\sigma_v}{2\epsilon_{cu}} \frac{R^2}{z} \quad (2.7.4)$$

Если рассматривать эритроцит как заряженный виток, то линейную плотность зарядов можно определить как

$$\sigma_e = \frac{Q_0}{2\pi z_0} \quad (2.7.5)$$

где  $\sigma_e$  - линейная плотность зарядов,

$Q_0$  - полный заряд на эритроците,

$z_0$  - эквивалентный радиус эритроцита.

Сила, действующая со стороны электростатического поля сосуда на заряженный эритроцит может быть определена следующим образом

$$F_z^{эл} = \frac{\sigma_v \sigma_e z_0}{2\epsilon_{cu}} \int_0^{2\pi} z'(\varphi) d\varphi, \quad (2.7.6)$$

где  $z = z'(\varphi)$  - расстояние от оси сосуда до элемента дуги  $d\varphi = \frac{2\pi}{n} d\varphi$

Так как /см.рис.24/

$$z'(\varphi) = z + z_0 \cos \varphi \quad (2.7.7)$$

где  $z$  - расстояние центра эритроцита от оси сосуда, то после интегрирования (2.7.6) получим, что

$$F_2 = \frac{\sigma_v \cdot 2\pi r_0 \sigma_e z}{2 \varepsilon_{cu}} \quad (2.7.8)$$

Учитывая, что  $\sigma_e = 2\pi r_0 \sigma_e$  выражение (2.7.8) можно переписать

как

$$F_2^{эн} = \frac{\sigma_v \cdot Q_0 \cdot z}{2 \varepsilon_{cu}} \quad (2.7.9)$$

Следует отметить, что действие электростатического поля сосуда на заряженный эритроцит, у которого по предложению заряд равномерно распределен по окружности радиуса  $r_0$ , эквивалентного действию, как это следует из [279], когда весь заряд эритроцита сосредоточен в его центре.

Представляет интерес найти соотношение между радиальными силами, обусловленными как электростатическим расталкиванием, так и взаимодействием магнитных полей эритроцитов и кровеносного сосуда.

Из соотношений (2.6.10) и (2.7.9) следует, что

$$\left| \frac{F_2^m}{F_2^{эн}} \right| = \frac{\mu \cdot \varepsilon_{cu} \cdot I_0 \cdot M_0}{\pi R^2 \sigma_v \cdot Q_0 \cdot z} \quad (2.7.10)$$

Так как ток заряженных микроэлементов крови можно записать в виде

$$I = \pi R^2 \sigma_v \cdot v_{cp} \quad (2.7.11)$$

где  $v_{cp}$  - средняя скорость крови в сосуде,

$R$  - радиус сосуда, то соотношение (5.50) можно переписать

$$\left| \frac{F_1}{F_2} \right| = 85,5 \cdot 10^4 \sqrt{\epsilon_p} \cdot \pi \cdot 2c^2 / 2c^2 \quad (2.7.12)$$

§ 8. Электромгнитные силы в кольцевых структурах эритроцитов

Как уже ранее указывалось движение крови в кровеносных сосудах происходит под действием электромагнитных и гидродинамических сил, обуславливающих в пространстве сосуда строгую геометрическую организацию расположения эритроцитов.

Так на рис. 25 показано сечение кровеносного сосуда и предполагаемое распределение эритроцитов, когда они при своем движении собраны в радиально кольцевые структуры.

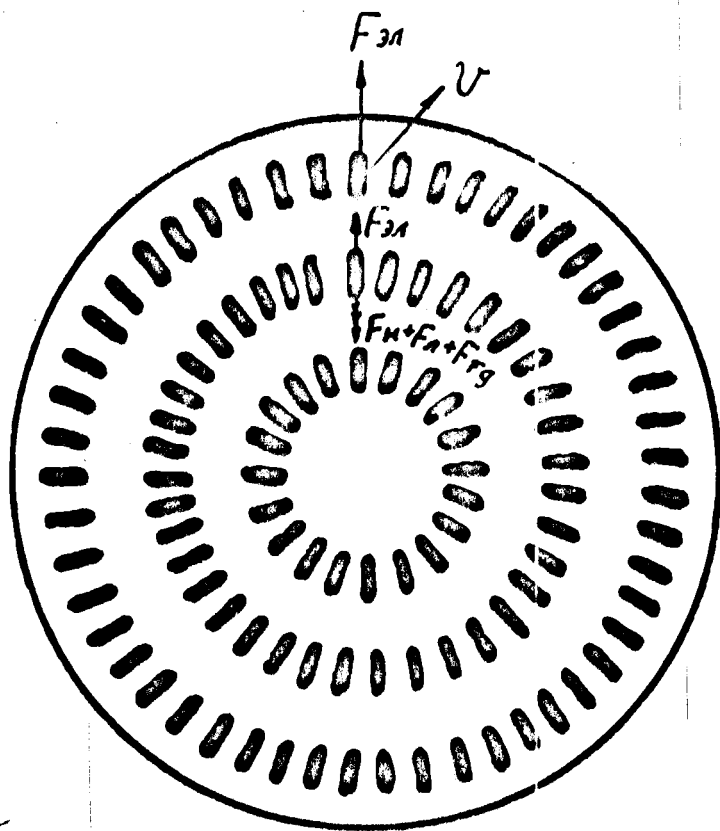


Рис. 25

Электрические силы

Для исследования характера распределения электромагнитных сил в кольцевой цепочке эритроцитов предположим, что их можно развернуть на прямую линию. В этом случае будет иметь бесконечный набор эритроцитов конечной ширины  $2h_0$ , отделенных друг от друга равными промежутками  $2z_0$ .

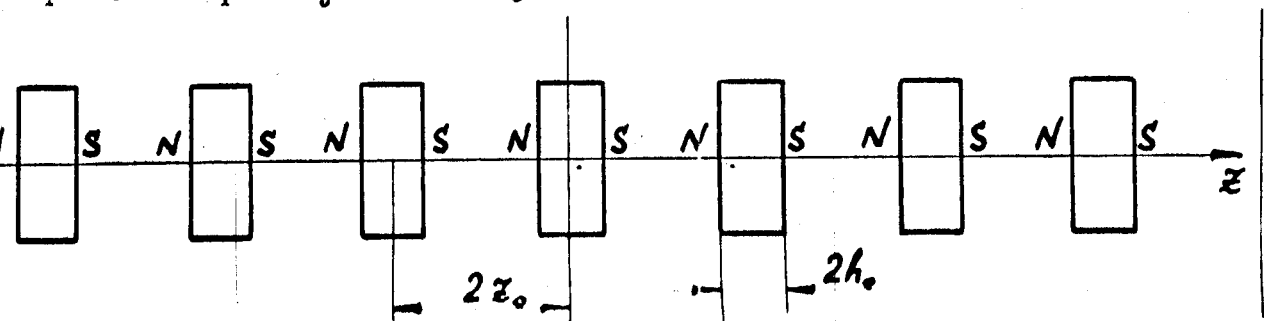


Рис. 26

Такая идеализация геометрии кольцевой структуры эритроцитов, показанная на рис. 26 в последующем позволяет относительно просто определить компоненты электромагнитного поля и силы действующие на эритроцит, обусловленные наличием на нем отрицательных зарядов и вращением эритроцита вокруг своей оси под действием гидродинамических сил.

Исходные предположения:

1. Эритроциты при расчете компонент электрического поля считаются вследствие их симметрии относительно оси вращения неподвижными.
2. Плотность зарядов внутри объема эритроцита постоянна.

Потенциал такой системы представим в обычной форме

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{V'} \frac{\bar{\sigma}_v dV'}{r^2} \quad , \quad (2.8.1)$$

где  $\bar{\sigma}_v = \bar{\sigma}_v(x', y', z')$  - объемная плотность зарядов внутри эритроцита, определяемая как

$$\bar{\sigma}_v = Q_0 / 2h_0 \pi z_0^2 \quad (2.8.2)$$



где  $2h_0$  - толщина эритроцита,

$z^*$  - расстояние между точкой наблюдения  $(x, y, z)$  и переменной точкой  $(x', y', z')$  элементарного объема  $dv'$ .

Объемную плотность представим в виде произведения двух сомножителей

$$\sigma_v = \sigma_z(z') \sigma_s(s') \quad (2.8.3)$$

где  $\sigma_z$  - линейная плотность зарядов по оси ,

$\sigma_s$  - поверхностная плотность.

В общем случае  $\sigma_z$ ,  $\sigma_s$  могут быть функциями координат рассматриваемых зарядов внутри эритроцитов.

Если по оси имеет место периодическое распределение зарядов внутри эритроцитов, то его можно представить следующим образом

$$\sigma_z(z') = \sigma_0 f(z') \quad (2.8.4)$$

В соотношении (2.8.4)  $\sigma_0$  - линейная плотность, а функция  $f(z')$  представляет периодическое распределение плотности  $\sigma_z$  зависящее только от координаты  $z'$ .

В простейшем случае, тогда функция  $\sigma_z(z')$  имеет вид прямоугольника с амплитудой она может быть разложена в ряд Фурье вида

$$\sigma_z(z') = \frac{\sigma_0}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m \frac{\sin m\pi \frac{z'}{z_0}}{m} \cos \frac{\pi m}{z_0} z' \quad (2.8.5)$$

$2z_0$  - расстояние между центрами эритроцитов

$$\begin{aligned} \alpha_m &= 1 && \text{при } m = 0, \\ \alpha_m &= 2 && \text{при } m = 1, 2, 3 \dots \end{aligned}$$

Тогда для совокупности периодически распределенных по оси эритроцитов цилиндрической формы потенциал можно представить как

$$U = U_1 + U_2 \quad (2.8.6)$$

$$\text{где } U_1 = \frac{\tilde{\sigma}}{4\pi\epsilon} \frac{h_0}{z_0} \int_{-\infty}^{+\infty} dz' \int_{S'} \tilde{\sigma}_s \frac{ds'}{z^{*2}} \quad (2.8.7)$$

$$U_2 = \frac{\tilde{\sigma}_0}{2\pi^2\epsilon} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0}}{m} \int_{-\infty}^{+\infty} \cos \frac{\pi m}{z_0} z' dz' \int_{S'} \tilde{\sigma}_s \frac{ds'}{z^{*2}} \quad (2.8.8)$$

Выражение (2.8.7) в целом представляет потенциал электростатического поля неподвижных, периодически распределенных заряженных эритроцитов по оси  $Z$  в виде ряда Фурье, где первый член описывает среднее поле, а второй — поле в виде совокупности гармоник.

В последующем среднем полем интересоваться не будем, так как оно не представляет для нас интереса и не имеет соответствующей аналогии при рассмотрении течения крови как заряженной жидкости внутри кровеносных сосудов.

Для определения составляющих электрического поля, определяющих устойчивость эритроцитов в круговой цепочке рассмотрим интеграл вида

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \cos \frac{\pi m z'}{z_0} \frac{dz'}{\sqrt{(z-z')^2 + z^2 + z'^2 - 2zz' \cos(\varphi - \varphi')}}}, \quad (2.8.9)$$

где  $z'$  и  $\varphi'$  — координаты переменной точки, а  $z$  и  $\varphi$  координаты точки наблюдения в цилиндрической системе координат.

Полагая  $z - z' = \gamma$  имеем

$$\cos \frac{\pi m}{z_0} (z - z') = \cos \frac{\pi m}{z_0} z \cos \frac{\pi m}{z_0} \gamma - \sin \frac{\pi m}{z_0} z \cdot \sin \frac{\pi m}{z_0} \gamma$$

$$\begin{aligned} \text{или} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[ \cos \frac{\pi m}{z_0} (z + \gamma) \right] \frac{d\gamma}{\sqrt{\gamma^2 + z^2 + z'^2 - 2zz' \cos(\varphi - \varphi')}} &= \\ = 2 \cos \frac{\pi m z}{z_0} \int_0^{\infty} \cos \frac{\pi m}{z_0} \gamma \frac{d\gamma}{\sqrt{\gamma^2 + z^2 + z'^2 - 2zz' \cos(\varphi - \varphi')}} & \quad (2.8.10) \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\int_0^{\infty} \cos \frac{\pi m}{z_0} \gamma \frac{d\gamma}{\sqrt{\gamma^2 + z^2 + z'^2 - 2zz' \cos \epsilon}} = h_0 \left[ \frac{\pi m}{z_0} \sqrt{z^2 + z'^2 - 2zz' \cos \epsilon} \right]_{\epsilon}^{2.8.11}$$

где

$$\epsilon = \varphi - \varphi'$$

Выражение (2.8.II) справедливо при условии  
что  $\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta} > 0$

$K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta}\right]$  - цилиндрическая функция  
третьего рода или функция Макдональда.

С учетом выражения (2.8.II) потенциал  $U_2$  можно записать  
в виде

$$U_2 = \frac{eN}{4\pi\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin\frac{\pi m k_0}{z_0} \cos\frac{\pi m z}{z_0}}{m} \int_{z'}^z K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z'^2+z^2-2zz'\cos\Theta}\right] dz \quad (2.8.I2)$$

При дальнейшем интегрировании по  $z$  воспользуемся теоремой  
сложения для цилиндрической функции третьего рода, согласно  
которой

$$K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta}\right] = K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] I_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] + \\ + 2 \sum_{n=1}^{\infty} K_n\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] I_n\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] \cos n\Theta \quad z > z' \quad (2.8.I3)$$

$$K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta}\right] = K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] I_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] + \\ + 2 \sum_{n=1}^{\infty} K_n\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] I_n\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] \cos n\Theta \quad z < z' \quad (2.8.I4)$$

В нашем случае картина полей и потенциалов не зависит  
от координаты  $\varphi, \varphi'$ , т.е.

$$K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta}\right] = K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] I_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] \\ \text{при } z > z' \quad (2.8.I5)$$

$$K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}\sqrt{z^2+z'^2-2zz'\cos\Theta}\right] = K_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z'\right] I_0\left[\frac{\pi m}{z_0}z\right] \\ \text{при } z < z' \quad (2.8.I6)$$

В последующем будем интересоваться полем внутри цилиндрического заряженного эритроцита. Для этого случая потенциал можно представить следующим образом

$$U_2 = \frac{\epsilon N}{4\pi\epsilon_0 \pi z_0^2} \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{z}{z_0}}{m} \cos \frac{\pi m z}{z_0} \cdot \frac{z_0}{m}$$

$$\left\{ K_0 \left[ \frac{\pi m}{z_0} z \right] I_1 \left[ \frac{\pi m}{z_0} z \right] - I_0 \left[ \frac{\pi m}{z_0} z \right] \left[ z_0 K_1 \left( \frac{\pi m}{z_0} z_0 \right) - z K_1 \left( \frac{\pi m}{z_0} z \right) \right] \right\} \quad (2.8.17)$$

При интегрировании внутри цилиндрического ступка воспользовались тем, что (34)

$$\int V^n K_{n-1}(v) dv = -V^n K_n(v) \quad (2.8.18)$$

Для облегчения нахождения компонент преобразуем выражение (2.8.17) с помощью соотношения

$$K_0 \left( \frac{\pi m}{z_0} z \right) I_1 \left( \frac{\pi m}{z_0} z \right) + I_0 \left( \frac{\pi m}{z_0} z \right) K_1 \left( \frac{\pi m}{z_0} z \right) = z \left[ K_0(x) I_1(x) + K_1(x) I_0(x) \right], \quad (2.8.19)$$

где  $x = \pi m z / z_0$

Замечая, что  $I_1(x) = I_0'(x)$ , а  $K_1(x) = -K_0'(x)$

правую часть соотношения (2.8.19) перепишем в виде

$$\frac{x}{\pi m} \left[ K_0(x) I_0'(x) - K_0'(x) I_0(x) \right] \quad (2.8.20)$$

или согласно (34)

$$\left[ K_n(x) I_n'(x) - K_n'(x) I_n(x) \right] = \frac{1}{x} \quad (2.8.21)$$

( Это является вронскианом функции Бесселя )

соотношение (2.8.20) представим как

$$\frac{x}{\pi m} \left[ K_0(x) I_0'(x) - K_0'(x) I_0(x) \right] = \frac{z_0}{\pi m} \quad (2.8.22)$$

С учетом (2.8.22) потенциал для переменных составляющих поля внутри цилиндрических эритроцитов можно записать следующим образом

$$U_2 = \frac{\epsilon N}{4\pi\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi m h_0}{z_0} \cos \frac{\pi m z}{z_0} \cdot \frac{z_0}{m}}{m} \cdot \left\{ \frac{z_0}{\pi m} - I_0\left(\frac{\pi m}{h_0} z\right) z_0 K_1\left(\frac{\pi m}{h_0} z_0\right) \right\} \cdot \quad z < z_0 \quad (2.8.23)$$

Компоненты поля определим из условия

$$E = -\text{grad } U \quad (2.8.24)$$

Откуда для радиальной составляющей поля имеем

$$E_r = \frac{\epsilon N}{\pi^2\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0} \cos \frac{\pi m z}{z_0} \cdot \frac{\pi z_0 z_0}{h_0}}{m} \cdot I_1\left(\frac{\pi m}{z_0} z\right) K_1\left(\frac{\pi m z_0}{z_0}\right) \quad (2.8.25)$$

$$E_z = \frac{\epsilon N}{\pi^2\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0} \sin \frac{\pi m z}{z_0} \cdot \pi z_0}{m} \cdot \left\{ \frac{z_0}{\pi m z_0} - I_0\left(\frac{\pi m z}{z_0}\right) K_1\left(\frac{\pi m z_0}{h_0}\right) \right\} \quad (2.8.26)$$

Для качественного и количественного анализа компонент поля ограничимся рассмотрением основного случая, когда  $m = 1$ .

Тогда из (2.8.25) и (2.8.26) имеем, что

$$E_r = \frac{\epsilon N}{\pi^2\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \sin \pi \frac{h_0}{z_0} \cos \frac{\pi z}{z_0} \frac{\pi z_0 z_0}{h_0} I_1\left(\frac{h_0}{z_0}\right) K_1\left(\frac{z_0}{z_0}\right) \quad (2.8.27)$$

$$E_z = \frac{\epsilon N}{\pi^2\epsilon_0\lambda_0\pi z_0^2} \sin \pi \frac{h_0}{z_0} \sin \frac{\pi z}{z_0} \cdot \pi z_0 \cdot \left\{ \frac{z_0}{\pi z_0} - I_0\left(\frac{\pi z}{h_0}\right) K_1\left(\frac{h_0 z_0}{h_0}\right) \right\} \quad (2.8.28)$$

В последующем будем интересоваться компонентой электрического поля  $E_z$ , так как анализ электромагнитных полей по оси  $Z$  позволит сделать качественный анализ азимутальной устойчивости эритроцитов в кольцевых структурах.

Из соотношения (2.8.28) видно, что при  $z_0 = h_0$ , т.е. когда эритроциты находятся вплотную к друг друга компонента поля

$$E_z \equiv c \quad (2.8.29)$$

Эритроциты, имеющие на своей поверхности отрицательные заряды в кольцевой цепочке образуют собственные "микро-поля", характер распределения которых показан на рис. 27

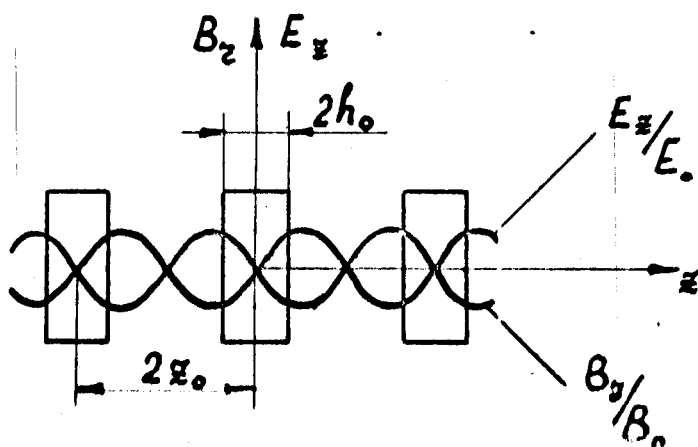


Рис. 27

Максимальное значение напряженности электрического поля будет на оси вращения эритроцита при  $z = 0$

$$E_z^{\text{max}} = \frac{Q_0}{\pi^2 \epsilon 2h_0 \pi z_0^2} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \sin \frac{\pi z}{z_0} \pi z_0 \cdot \left\{ \frac{z_0}{\pi z_0} - K_1 \left( \frac{\pi z_0}{h_0} \right) \right\} \quad Q = eN \quad (2.8.30)$$

и будет убывать в соответствии с (2.8.28) при приближении к краю эритроцита ( $z > z_0$ ).

Для определения силы действующей на заряженный эритроцит со стороны остальных найдем среднее значение напряженности поля  $\langle E_z \rangle$ , определяемое как

$$\langle E_z \rangle = \frac{1}{2h_0 \pi z_0^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{h_0} E_z dz \quad (2.8.31)$$

Учитывая (2.8.28) после интегрирования для усредненной напряженности поля  $\langle E_z \rangle$  имеем

$$\langle E_z \rangle = \frac{Q_0}{\pi^2 \varepsilon_0 2h_0 \pi z_0^2} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \left[ \cos \frac{\pi h_0}{z_0} - 1 \right] \frac{z_0}{\pi h_0} \cdot \left\{ z_0 - 2h_0 I_1 \left( \frac{\pi}{h_0} z_0 \right) K_1 \left( \frac{\pi}{h_0} z_0 \right) \right\} \quad (2.8.32)$$

а для средней силы  $\langle F_z^{\text{ан}} \rangle$ , приложенной к одной из половинок эритроцита в соответствии с (2.8.31) получим, что

$$\langle F_z^{\text{ан}} \rangle = \frac{Q_0^2}{2\pi^2 2h_0 \pi z_0^2} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \left[ \cos \frac{\pi h_0}{z_0} - 1 \right] \frac{z_0}{\pi h_0} \cdot \left\{ z_0 - 2h_0 I_1 \left( \frac{\pi}{h_0} z_0 \right) K_1 \left( \frac{\pi}{h_0} z_0 \right) \right\} \quad (2.8.33)$$

Из соотношения (2.8.33) видно, что при симметричном и одинаковом расположении эритроцитов в кольце, последние находятся в состоянии равновесия под действием совокупного электрического поля. При изменении положения эритроцита в ту или иную сторону по оси  $Z$  на него начинает действовать разностная электрическая сила, которая обратится в нуль только тогда, когда эритроциты в кольцевой цепочке будут расположены на одинаковом расстоянии друг от друга, обеспечивая тем самым стабилизацию эритроцитов по азимуту.

Знак минус из-за множителя  $(\cos \frac{\pi h_0}{z_0} - 1)$  в формуле (2.8.33) означает, что сила направлена влево при перемещении эритроцита вправо и наоборот, если определять эффективную силу  $\langle F_z^{\text{ан}} \rangle$  действующую на левую половину эритроцита.

## § 9. Магнитные силы

При расчете магнитных сил будем также предполагать, что эритроциты из кольцевой цепочки развернуты на безграничную прямую с постоянными промежутками по оси  $Z$  и равными  $2h_0$ .

Магнитный момент единицы объема эритроцита или намагниченность  $M$  будем предполагать постоянной.

Тогда, полагая, что амплитуда намагниченности  $M_0$  постоянна в пределах ширины эритроцита  $2/h_0$ , намагниченность  $M$ , как и ранее, представим в виде следующего ряда Фурье

$$M(z') = \frac{M_0}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0}}{m} \cos \frac{\pi m z'}{z_0} \quad (2.9.1)$$

При этих допущениях скалярный потенциал периодически распределенных по оси  $z$  равномерно намагниченных эритроцитов может быть представлен следующим образом

$$\psi = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{M_0}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0}}{m} \int_{-z}^{+z} \cos \frac{\pi m z'}{z_0} dz' \int_{S'} \frac{dS'}{z^{\pi}} \right\} \quad (2.9.2)$$

Интересуясь только потенциалом  $\psi_2$ , описывающим зависимость магнитного поля от пространственных координат внутри кольцевой структуры эритроцитов, получим по аналогии с выражением (2.8.23), что

$$\psi_2 = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{4M_0}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0}}{m} \cos \frac{\pi m z}{z_0} \cdot \frac{z_0}{m} \cdot \left\{ \frac{z_0}{\pi m} - I_0 \left( \frac{\pi m z}{h_0} \right) z_0 K_1 \left( \frac{\pi m z_0}{h_0} \right) \right\} \right\} \quad z < z_0 \quad (2.9.3)$$

Для радиальной составляющей магнитного поля, которая определяет взаимодействие магнитиков-эритроцитов из (5.88) имеем

$$H_z = -4M_0 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi m \frac{h_0}{z_0}}{m} \sin \frac{\pi m z}{z_0} \frac{\pi m z_0}{h_0} \cdot I_1 \left( \frac{\pi m z}{h_0} \right) K_1 \left( \frac{\pi m z_0}{h_0} \right) \quad (2.9.4)$$

Для основной гармоники из (2.9.4) следует

при  $m=1$

$$H_z = -4M_0 \frac{z_0}{h_0} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \sin \frac{\pi z}{z_0} I_1 \left( \frac{\pi z}{h_0} \right) K_1 \left( \frac{\pi z_0}{h_0} \right) \quad (2.9.5)$$

Заменяя намагниченный по оси  $z$  цилиндрический эритроцит соответствующим токовым контуром, получим интересное нас



выражение для радиальной компоненты индукции поля  $B_z$  в виде

$$B_z = -4\pi \frac{\mu W J}{2hc} \frac{z_c}{h_0} \sin \pi \frac{h_0}{z_c} \sin \frac{\pi z}{z_c} I_1\left(\frac{\pi z}{h_0}\right) K_1\left(\frac{\pi z_c}{h_0}\right) \quad (2.9.6)$$

или в соответствии с тем, что можно заменить

$$WJ = J_0 = nQ_0 \quad (2.9.7)$$

где  $n$  - число оборотов эритроцита в I сек., а  $Q_0$  полный заряд по предположению сосредоточенный по боковой поверхности эритроцита выражение (2.9.6) представим в окончательном виде

$$B_z = -4\pi \frac{\mu n Q_0}{2hc} \frac{z_c}{h_0} \sin \pi \frac{h_0}{z_0} \sin \frac{\pi z}{z_0} I_1\left(\frac{\pi z}{h_0}\right) K_1\left(\frac{\pi z_0}{h_0}\right) \quad (2.9.8)$$

Для вычисления сил притяжения, обусловленных вращением эритроцитов вокруг своей оси и наличием зарядов внутри их объема, усредним компоненту поля  $B_z$  по одной из половин объема эритроцита

$$\langle B_z \rangle = \frac{1}{2\pi h_0} \int_0^{h_0} dz \int_0^{2\pi} B_z d\varphi \quad (2.9.9)$$

или после интегрирования

$$\langle B_z \rangle \Big|_{z=0}^{z=z_0} = \frac{\mu n Q_0}{hc} \frac{z_c z_0}{h_0^2} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \left[ 1 - \cos \frac{\pi h_0}{z_c} \right] \cdot I_1\left(\frac{\pi z_0}{h_0}\right) K_1\left(\frac{\pi z_c}{h_0}\right) \quad (2.9.10)$$

В случае соосных контуров сила магнитного взаимодействия в соответствии с (2.5.5) определяется следующим образом

$$F_z^M = J_0/2 \int [dl \vec{S} \times \vec{B}] \quad (2.9.11)$$

Поскольку токи в эритроцитах вращающихся вокруг своих осей одинаковы, то сила магнитного взаимодействия будет определяться только компонентой  $B_z$  и может быть представлена как

$$\langle F_z^M \rangle = J_0/2 \cdot \langle B_z \rangle \Big|_{z=z_0} \cdot 2\pi z_0 \quad (2.9.12)$$

или после подстановки выражения  $\langle B_z \rangle$  из (2.9.10) в (2.9.12) в виде

$$\langle F_z^M \rangle = \frac{2\pi \mu_0 n^2 G_c^2}{h_0} \frac{z_0 z_0^2}{h_0^2} \sin \frac{\pi h_0}{z_0} \left[ 1 - \cos \frac{\pi h_0}{z_0} \right] \cdot I_1 \left( \frac{\pi z_0}{h_0} \right) K_1 \left( \frac{\pi z_0}{h_0} \right) \quad (2.9.13)$$

Из выражения (2.9.8) и (2.9.13) видно, что компонента индукции  $B_z = 0$  при  $z = 0$  и меняет свой знак при переходе координаты через нуль. Так как силы магнитного взаимодействия для случая соосных эритроцитов определяются компонентой поля  $B_z = B_z(z, z_c, z_c, h_0, n, G_c, \mu)$  то в соответствии с изменением знака компонента индукции  $B_z$  будут меняться и магнитные силы.

При строго симметричном расположении эритроцитов в кольцевой цепочке силы магнитного притяжения являются уравновешенными относительно координаты  $z = 0$  ( $F_z^M \equiv 0$ ) и вступают в действие только тогда, когда эритроцит вследствие каких-либо причин получает смещение.

Отметим также, что одновременно с действием магнитных сил вступают в действие электростатические силы.

Эта совокупность сил будет действовать до тех пор, пока эритроциты снова займут строго симметричное положение в кольцевой цепочке, а сами магнитные и электростатические силы не станут опять равными нулю.

Таким образом рассмотрение в первом приближении электромагнитных сил, обусловленных движением по кровеносным сосудам отрицательно заряженных эритроцитов, показывает их удивительную гармонию и целесообразность.

Так при рассмотрении движения радиально-кольцевых структур эритроцитов основными силами, обеспечивающими их устойчивость в радиальном направлении являются:

1. Гидродинамические силы  $F_2^{29}$  гид, возникающие при движении крови по сосудам под действием сердца как насоса, приложенные радиально к каждому эритроциту и действующие по направлению к оси сосуда (  $\vec{r} \rightarrow O$  ).

2. Магнитные силы, получающиеся в результате взаимодействия магнитного поля эритроцита с магнитным полем в сосуде, образующимся от движения в нем всех заряженных микроэлементов крови.

Эта сила  $F_2^M$  является также радиальной силой, приложенной к каждому эритроциту и направленной к центру сосуда.

Важным следствием, вытекающим из анализа взаимодействия магнитного поля эритроцита с магнитным полем кровеносного сосуда, является появление момента сил, помимо гироскопического, который начинает действовать на эритроцит только при отклонении его положения от радиального.

3. Силой Лоренца, определяемой как

$$F_2'' = Q_e [\vec{V} \cdot \vec{B}] \quad , \quad (2.9.14)$$

где  $\vec{V}$  - наступательная скорость центра тяжести эритроцита,

$Q_e$  - полный заряд эритроцита,

$\vec{B}$  - индукция магнитного поля внутри кровеносного сосуда.

Из соотношения (2.9.14) и направления силовых линий индукции поля  $\vec{B}$  следует, что сила  $F_2''$  также направлена по радиусу к центру сосуда.

Все три силы  $F_c^{13}$ ,  $F_c^{14}$ ,  $F_c^{\Delta}$  стремятся сжать кольцевые цепочки эритроцитов по радиусу и уменьшить расстояния между отдельными эритроцитами в самой кольцевой цепочке.

4. Электрические силы отталкивания  $F_c^{\Delta\Delta}$ , действующие на каждый эритроцит и обусловленные общим зарядом, находящимся внутри сосуда.

Характер действия этой силы  $F_c^{\Delta\Delta}$  является противоположным трем предыдущим, так как эта сила стремится разорвать кольцевую цепочку эритроцитов и сдвинуть их по радиусу к стенкам сосуда.

Уравнение движения одиночного эритроцита в радиальном направлении под действием сил можно представить в общей форме как

$$m \frac{dr_c}{dt} = F_c^{13} + F_c^{14} + F_c^{\Delta} - F_c^{\Delta\Delta}, \quad (2.9.15)$$

где  $m$  - масса эритроцита.

К сожалению найти решение уравнения (2.9.15) и провести соответствующий анализ радиальной устойчивости в настоящее время не удастся, так как не определено аналитическое выражение для гидродинамической силы.

В работе (6) определен порядок сил  $F_c^{13} = (10^{-10})^{-8}$  дин для сосудов радиусом  $R = (1,4 - 1,4 \cdot 10^{-3})$  см. соответственно. Полагая порядок величин  $F_c^{13}$  правильным из условия  $F_c^{13} = F_c^{\Delta\Delta}$  найдем, что баланс сил в (2.9.15) возможен, если каждый эритроцит имеет внутри своего объема  $10^3 - 10^4$  электронов. Отметим, что кислородный запас одного эритроцита составляет  $10^9$  молекул.

III ГЛАВА. ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА КАК ПРИЕМНЫЙ КОНТУР  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

§ I. Особенности малого круга кровообращения (35)

Сердце взрослого человека имеет размер с кулак и весит около 300 грамм, составляя таким образом около 0,4-0,5 % веса всего человеческого организма.

Схема устройства сердца и последовательность его работы во времени показана на рис. 28

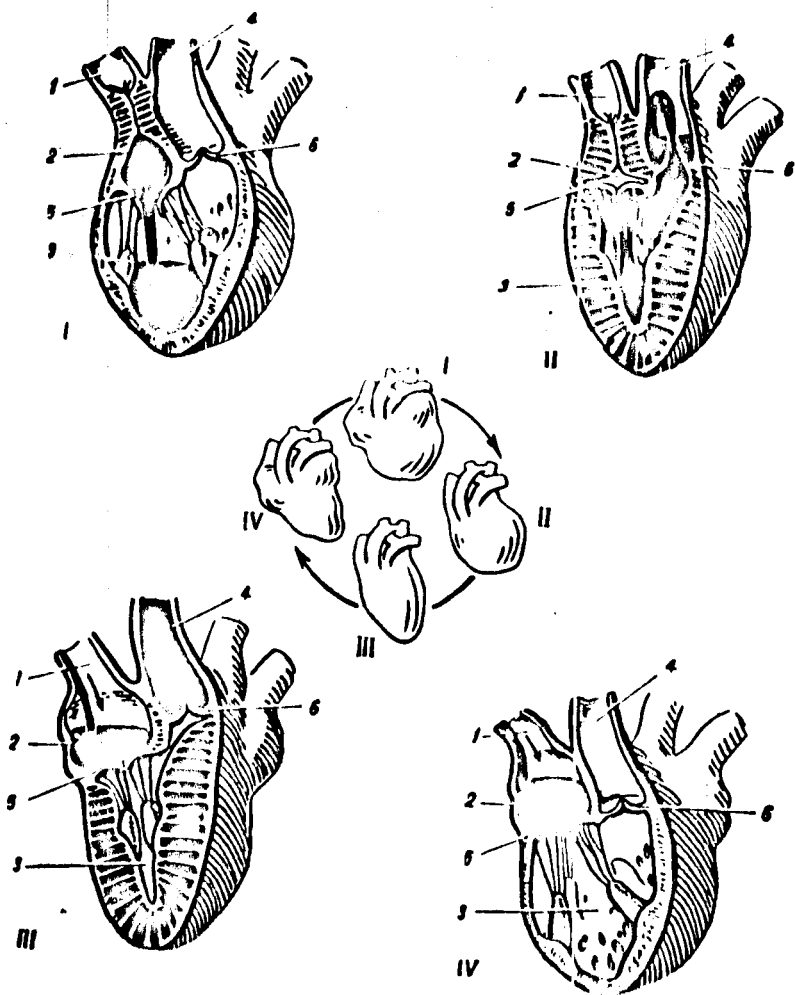


Рис. 28

Сердце имеет два предсердия—два желудочка (в сечении показано 1 - вена, 2 - предсердие, 3 - желудочек, 4 - аорта, 5 - створчатый клапан, 6 - полулунные клапаны).

Предсердия и желудочки отделены друг от друга непроницаемой перегородкой.

Для того, чтобы сердце работало как насос, перегоняя кровь по сосудистой системе человека в нужном направлении, между правым предсердием и желудочком имеется трехстворчатый клапан, а между левым предсердием и левым желудочком—двухстворчатый или митральный клапан.

Необходимая направленность движения крови обеспечивается так называемыми полулунными клапанами, расположенными между левым желудочком и аортой и правым желудочком и легочной артерией. Полулунные клапаны подобны трем подогнанным друг другу кармашкам открытые концы которых направлены в сторону движения крови.

Работа полулунных клапанов основана на том, что под давлением крови они прижимаются к стенкам сосудов, открывая доступ потоку крови, а после прекращения давления они, наполняясь кровью тесно прилегают друг к другу, закрывая тем самым доступ крови в обратном направлении.

Обычный ритм работы сердца составляет около 70 раз в минуту, причем работа сердца во времени происходит в строгой последовательности.

Каждый цикл сердечной деятельности начинается с одновременного сокращения (систола) обеих предсердий.


Длительность систолы предсердий в норме составляет около 0,1 сек. При этом давление в предсердиях повышается на несколько

ко мм. ртутного столба и кровь из полостей предсердий через предсердно-желудочные отверстия перекачиваются в желудочки.

Непосредственно после окончания систолы предсердий начинается систола обеих желудочков общей продолжительностью около 0,3 сек.

За счет быстрого нарастания давления в желудочках в течение очень короткого интервала времени первоначально закрываются предсердно-желудочковые клапаны, а затем приблизительно за 0,05 сек. из-за продолжающегося увеличения давления в желудочках раскрываются полулунные клапаны и кровь устремляется в систему большого и малого кругов кровообращения.

При прекращении систолы желудочков начинается их расслабление и общая пауза отдыха (диастола) для всех отделов сердца продолжительностью около 0,4 сек.

Последовательность работы сердца по описанному циклу очень хорошо показана на рис. 28, 

Положение I - сокращение предсердий, в результате которого кровь переходит из предсердий в желудочки.

II - сокращение (систола) желудочков.

III и IV - период отдыха (диастолы) сердечной мышцы.

Характерно, что интервал времени, в течение которого кровь начинает поступать в левое предсердие,  $t = 0,7$  сек.

Каждое сокращение<sup>1</sup> желудочков выбрасывает кровь объемом около  $60-70 \text{ см}^3$ , причем из правого желудочка в легочную артерию, а из левого желудочка - в аорту.

Кровь из левого желудочка выбрасывается в аорту под давлением 140–150 мм.ртутного столба, а из правого желудочка при значительно меньшем давлении, что объясняется особенностями гемодинамики малого круга кровообращения.

Малый круг кровообращения состоит из правого предсердия, правого желудочка, легочной артерии и легких, четырех легочных вен, впадающих в левое предсердие, которое выполняет роль резервуара, периодически пополняющегося в течение интервала времени около 0,7 сек.

Давление в малом круге кровообращения в 6–7 раз меньше, чем в большом. Это объясняется тем, что сосудистое русло большого круга.

При обычных условиях минутный объем крови как для большого, так и для малого круга примерно одинаков, а диаметр артериол малого круга в 5–7 раз больше, чем диаметр артериол большого круга.

Одним из важных гемодинамических показателей кровообращения в малом круге является объем крови, который может находиться в каждый данный момент в легочных сосудах.

Принято считать, что в легких может находиться от 6% до 26% всей крови организма (от 500 до 1500 миллилитров).

Величина кровотока по малому кругу кровообращения определяется минутным объемом сердца и в покое составляет 3,5–5,5 литра. При усиленной физической работе величина кровотока может вырасти до 30–40 литров в минуту.

Специфическим показателем гемодинамики малого круга является количество крови приходящееся в единицу времени на единицу веса. Это количество крови в 200 раз выше даже в покое, чем соответствующее



щие показатели для других органов и тканей организма.

Время, в течение которого кровь совершает путь от правого желудочка до левого предсердия по различным данным составляет от 6 сек. до 11 сек.

Разность давлений, обеспечивающих течение крови в малом круге составляет всего 10–12 мм, что является непосредственным отражением небольшого сопротивления сосудистого русла малого круга.

Одной из существенных особенностей кровообращения в малом круге представляют артерио-венозные анастомазы или шунты, через которые кровь может двигаться в обход легочных капилляров. Эти шунты выполняют роль буферных резервуаров для предотвращения перегрузки правого желудочка сердца. При этом кровь протекающая через такие шунты, естественно, не обогащается кислородом.

В легочных капиллярах, а их поверхность составляет 140 кв. метров, венозная кровь освобождается от углекислого газа и практически насыщается кислородом.

Среднее время газообмена в капиллярах легких составляет около 0,75 сек. и характерно, что в это время, примерно, равно периоду работы сердца за исключением времени систолы предсердий.

Таким образом основными особенностями гемодинамики малого круга кровообращения являются ( 35 ) :

1) малый перепад давлений, обеспечивающий движение крови, и как следствие этого значительно больший размер артериол.

2) большая поверхность легких около 140 кв. метров и наличие в них анастомазов – шунтов, по которым кровь может двигаться в обход легочных капилляров.

3) наличие в каждый момент времени в малом круге гораздо большего объема крови не только по величине, но и по количеству крови, приходящейся на единицу веса.

## § 2. Малый круг кровообращения как приемный контур электромагнитной энергии

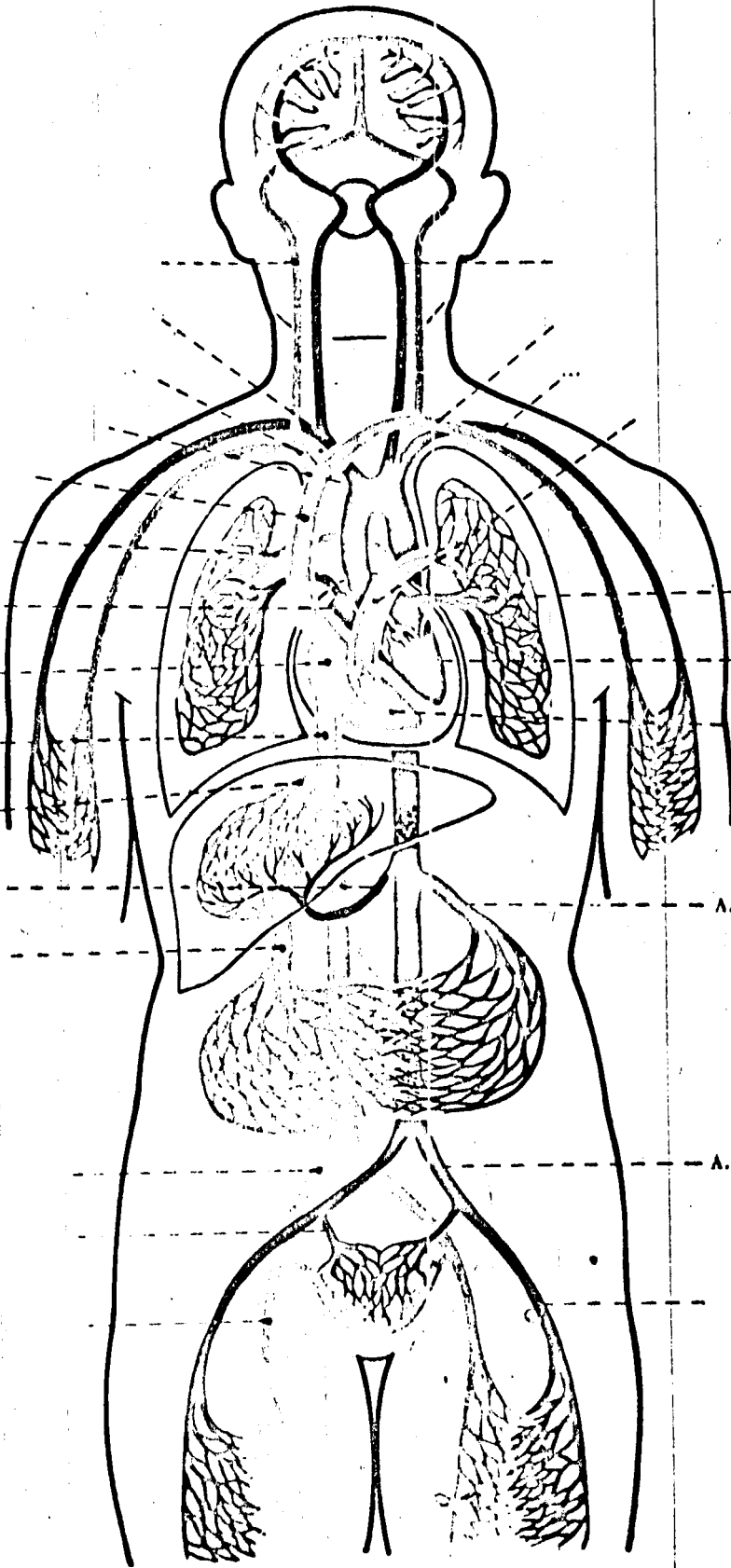
Кровеносная система является основной системой определяющей нормальную жизнедеятельность человеческого организма, так как для снабжения всех органов и тканей необходим постоянный приток питательных веществ, кислорода и т.д., а также отвод ненужных продуктов жизнедеятельности.

Все это осуществляется крайне грандиозной системой кровеносных сосудов, имеющих общую протяженность около 95 тысяч км.

На рис. 29 показана общая схема кровеносной системы человеческого организма. Ее характерной особенностью является наличие в ряде мест человеческого организма из сосудов и капилляров, несущих артериальную венозную кровь, образований в виде замкнутых контуров.

Здесь и далее под замкнутым контуром будем понимать такую геометрию кровеносной системы, когда в течение конечного интервала времени в рассматриваемой системе возможно совершить обход по замкнутой кривой.

При этом обходе не учитывается различие между артериальной и венозной кровью, так как последняя рассматривается как электропроводящая жидкость, свойства которой мало меняются из-за наличия или отсутствия в ней определенной части кислорода или углекислоты.



Безусловно строгое обоснование и нахождение замкнутых контуров в том или ином месте человеческого организма потребует детального знания геометрии кровеносных сосудов, а также очень внимательного и тщательного изучения в них всех особенностей динамики движения крови.

На рис. 30 схематически представлен малый круг кровообращения, который в течении конечного интервала времени, можно рассматривать как замкнутый контур.

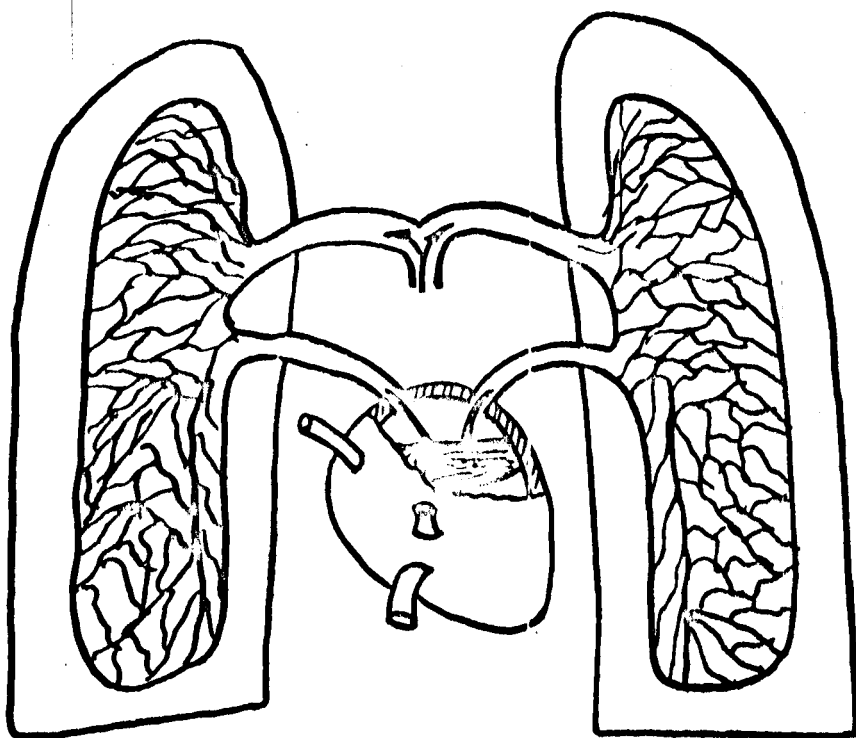


Рис. 30.

Этот контур состоит из следующих элементов:

- 1) легочной артерии, несущей венозную кровь (точнее из правого и левого ответвления легочной артерии),
- 2) двух легких с поверхностью капилляров в 140 кв. метров,

- 3) четырех легочных вен с артериальной кровью и  
 4) левого предсердия, выполняющего роль резервуара во время слива крови под действием сердца как насоса.

Образование такого замкнутого и электропроводящего контура обусловлено спецификой геометрии малого круга и функциональными особенностями работы сердца во времени.

Во время систолы предсердий ( $t = 0,1$  сек) контур разомкнут, а во время систолы желудочков и общей диастолы сердца на время  $t = 0,7$  сек. в малом круге образуется замкнутый электропроводящий контур, который можно рассматривать как приемный контур электромагнитной энергии.

Временная диаграмма работы приемного контура в малом круге кровообращения показана на рис. 31.

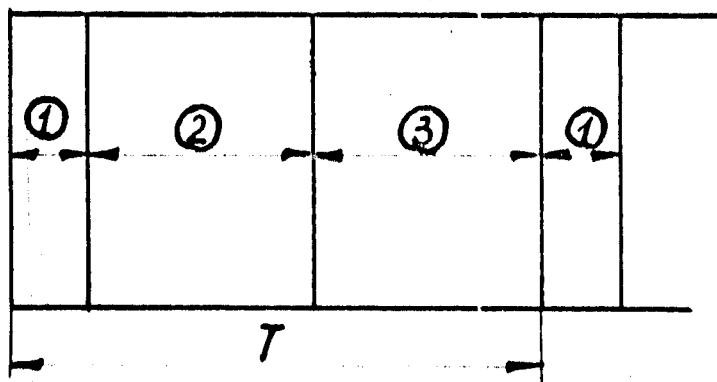


Рис. 31.

В положении 1 — систола предсердий, контур разомкнут.  
 В положении 2 — систола желудочков и 3 — общая диастола сердца, когда кровь постепенно выталкивается в левый предсердие, контур начинает замыкаться.

$T$  — период работы сердца.

§ 3. Гипотеза о механизме воздействия солнечной активности на человеческий организм

Солнце является слабопеременной звездой, уровень излучения которой меняется во времени, обнаруживая в среднем цикличность процесса с периодом около 11 лет. Продолжительность отдельных циклов колеблется от 7 до 17 лет.

Во время максимума солнечной активности, признаком которой увеличение числа солнечных пятен, весьма частым явлением являются солнечные вспышки, которые по своему существу представляют кратковременные процессы взрывного характера, когда значение производных от параметров, характеризующих вспышки, могут достигать больших величин.

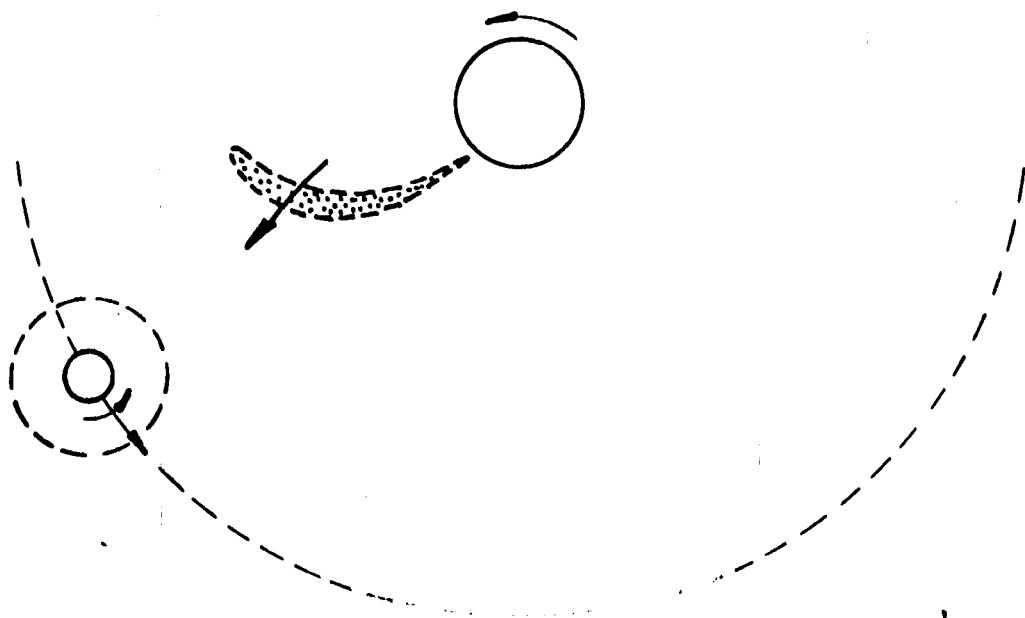


Рис. 32.

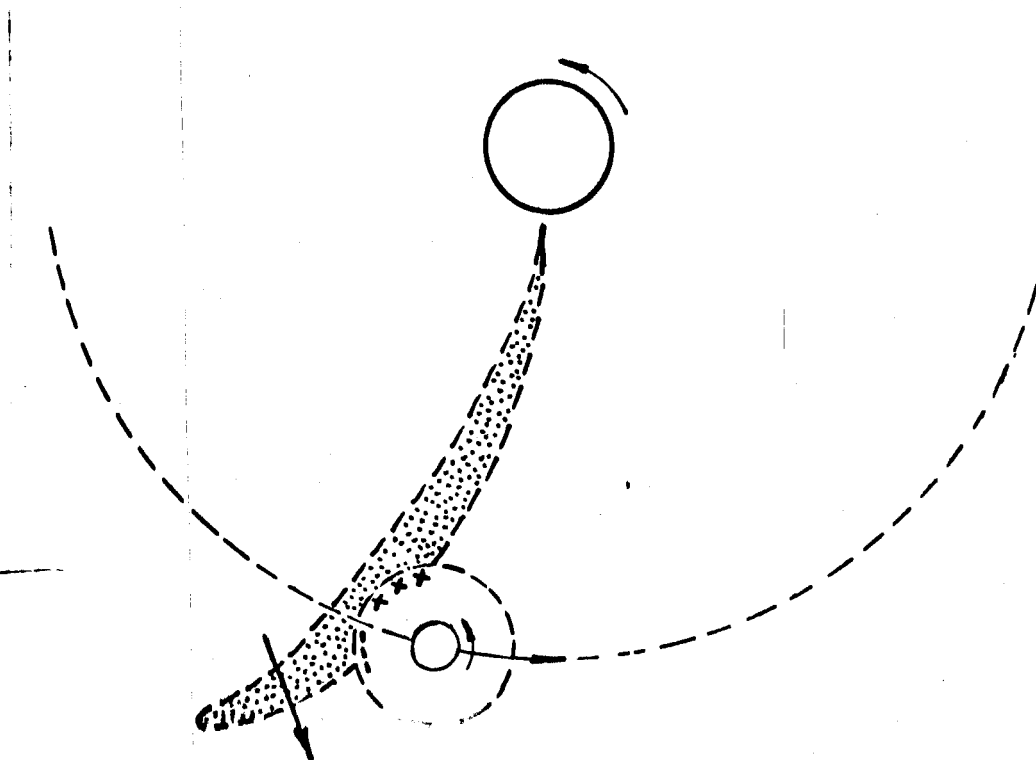
Во время солнечных вспышек из активных областей Солнца интенсивно выбрасываются потоки солнечного вещества или потоки электрически нейтрального газа.

Согласно гипотезы Чепмена, если такое облако солнечного вещества выбрасывается из активных областей Солнца, то получается картина, показанная на рис. 32.

Так как Солнце вращается вокруг своей оси быстрее, чем Земля, то потоки выброшенного солнечного вещества будут достигать нашу планету сзади.

При этом на огромных расстояниях от Солнца облако газа остается электрически нейтральным, ибо протяженность земного магнитного поля малы по сравнению с расстоянием от Земли до Солнца.

На расстоянии трех или четырех диаметров Земли от ее поверхности облако электрически нейтрального газа начинает испытывать воздействие магнитного поля Земли.



Схематически характер взаимодействия электрически нейтрального газа, состоящего из равного количества ионов и электронов с магнитным полем Земли показано условно на рис. 33.

При взаимодействии с магнитным полем Земли поток ионизированного газа начинает сепарироваться не только по знаку заряда, но и по массам заряженных частиц.

Этот процесс происходит в космическом пространстве непосредственно примыкающим к Земле и приводит к появлению выделенных по знаку токов заряженных частиц, схематически показанных на рис. 34

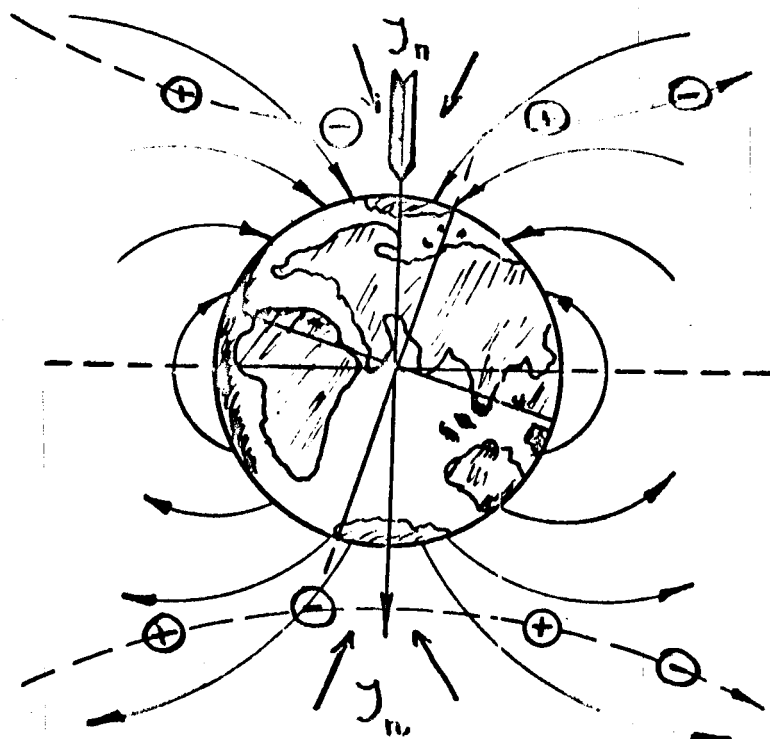


Рис. 34



Так как выброс солнечного вещества из активных областей Солнца имеет взрывной характер, то плотность заряженных частиц в единице объема, их скорость в космическом и околоземном пространстве будет функцией времени, т.е.

$$\begin{aligned} \rho^{\pm} &= \rho^{\pm}(t) \\ V^{\pm} &= V^{\pm}(t) \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

где  $\rho$ ,  $V$  - плотность и скорость ионизированных частиц,  $t$  - время.

Вследствие этого магнитное поле, создаваемое сепарированными и выделенными по знаку пучками заряженных частиц, в простейшем виде можно представить следующим образом.

$$B^{\pm} = \int \rho^{\pm}(t) V^{\pm}(t) F(x, y, z), \quad (3.3.2)$$

где функция  $F(x, y, z)$  характеризует зависимость напряженности магнитного поля только от пространственных координат.

Для производной магнитного поля по времени имеем

$$\frac{\partial B^{\pm}}{\partial t} = \left[ \frac{\partial \rho^{\pm}}{\partial t} V^{\pm}(t) + \rho^{\pm}(t) \frac{\partial V^{\pm}}{\partial t} \right] F(x, y, z) \mu \quad (3.3.3)$$

Так как плотность заряженных частиц  $\rho^{\pm} = \rho^{\pm}(t)$  отражает взрывной характер деятельности активного Солнца, то на земной поверхности это будет проявляться в виде неправильных и резких колебаний магнитного поля, когда значение производной магнитного поля  $\frac{\partial B^{\pm}}{\partial t}$  может достигать больших величин.

Если токи текут симметрично относительно магнитного экватора над северным и южным полушариями Земли, то колебания поля по времени будут иметь резко выраженный широтный и высотный характер.

Колебания магнитного поля, достигающие нередко больших величин имеют место также в области зон полярных сияний за счет втекающих туда токов.

Существенной особенностью подобных возмущений магнитного поля Земли является то, что величина амплитуд возмущений должна возрастать при перемещении от экватора, на котором ее значение близко к нулю, к полярным зонам, где амплитуда колебаний поля будет максимальной.

Причем из общих соображений становится ясным, что наибольшее возмущение будет испытывать горизонтальная составляющая земного поля, так как она является результатом суперпозиции полей, возникающих либо от встречно направленных токов в полярных областях, либо от одинаково направленных токов, проходящих симметрично относительно экватора в околоземном пространстве Земли.

Таким образом в период солнечной активности, особенно во время ее максимума, биосфера Земли непосредственно подвергается воздействию переменного во времени магнитного поля, когда значения производных компонент напряженности поля по времени могут достигать значительных величин в течение конечного интервала времени.

При непосредственном воздействии на человеческий организм переменного во времени магнитного поля, имеющего дельтаобразный характер и отражающие взрывные процессы на Солнце, в малом круге кровообращения как замкнутом электропроводящем контуре (см. рис. 30, на котором показаны легочная артерия, правое и левое легкое, четыре легочных вены и наполняющееся кровью

левое предсердие) за время систолы желудочков и общей диастолы сердца возникает электродвижущая сила.

$$\mathcal{E} \approx C = \mathcal{D}B / H (WS) \text{ сердца,} \quad (3.3.4)$$

приводящая к появлению в сосудистом русле малого круга электрического тока, который может нарушить устойчивость работы сердечно-сосудистой системы человека.

В соотношении (3.3.4) параметр  $(WS)$  характеризует электрические свойства замкнутого контура (число "витков"  $W$  и их площадь  $S$ ) в малом круге кровообращения. Этот параметр подлежит последующему экспериментальному определению.

Результатом воздействия на организм человека переменного во времени магнитного поля является облегчение условий образования тромбов в малом круге кровообращения или постоянное нервное раздражение.

Этому способствуют и особенности малого круга кровообращения в сравнении с большим, а именно, большие размеры сосудистого русла и соответственно этому большее пространство и время для развития радиальной неустойчивости движения эритроцитов.

Фатальный исход, инфаркт миокарда или инсульт, либо избыточное нервное перенапряжение, влекущее за собой возможность совершения человеком в большем количестве тех или иных ошибок, или профессиональное заболевание в конечном итоге определяется индивидуальными особенностями здоровья человека и в первую очередь состоянием его взаимосвязанных между собой системы свертывания крови и нервной системы.

Здесь следует особо подчеркнуть, что широко распространенное мнение о якобы малых величинах, или малых дозах солнечной активности, действующих на биосферу Земли и приводящих к каким либо результатам, по существу может оказаться неправильным, так как, например, в механизме действия солнечной активности на сердечно-сосудистую и нервную системы человека основным параметром внешней среды, определяющим те или иные изменения, является производная поля по времени  $\frac{\partial B}{\partial t}$ , а не абсолютная величина  $B$ .

Заметим, что для получения значительной величина / не требуется больших абсолютных значений, ибо по определению

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{B_2 - B_1}{t_2 - t_1}, \quad (3.3.5)$$

где  $B_2, B_1, t_2, t_1$  являются разностью двух близких к другу значений магнитного поля и времени соответственно.

#### § 4. Роль гепарина и замкнутых контуров в организме человека

Человеческий организм, подвергающийся в процессе своей многовековой эволюции периодическому воздействию солнечной активности с максимумом, чередующимися в среднем через 11 лет, естественно, должен обладать компенсаторными возможностями по предотвращению нарушений условий устойчивости движения эритроцитов в кровеносном русле при введении в него с помощью магнитного поля электрических зарядов.

К числу веществ, выполняющих компенсаторные функции в сердечно-сосудистой системе человеческого организма, относится гепарин.

Гепарин известен как естественный антикоагулянт, обладающий способностью предотвращать свертывание крови с образованием тромбов.

Как указано в работе ( 36 ) "... Эта особая способность обусловлена тем, что гепарин является "электрической" молекулой, а большая величина (гепарин является гигантской молекулой) позволяет ему иметь на своей поверхности множество отрицательных электрических зарядов. Именно благодаря наличию этих электрических зарядов гепарин обладает способностью выполнять многие из своих функций, касающихся регуляции содержания в крови липидов и веществ, вызывающих свертывание крови..."

Подчеркнем еще раз, что основное свойство гепарина выполнять, безусловно, очень сложные функции по предотвращению образования тромбов должно быть связано с наличием на его поверхности отрицательно электрических зарядов, т.е. гепарин в кровеносной системе человека выполняет роль точнейшего регулятора зарядового баланса крови.

Каков конкретный механизм регуляции зарядового баланса крови?!

Это один из основных вопросов будущих интересных и важнейших исследований в общей программе поисков действенных мер и способов в лечении сердечно-сосудистых заболеваний человека.

Однако из описанного ранее в общих чертах механизма устойчивости движения эритроцитов в кровяном русле человеческого организма, по-видимому, следует предполагать непосредственную и количественную связь между отрицательными электрическими зарядами, находящимися как на эритроцитах, так и на <sup>m</sup>ниганских молекулах гепарина с возможностью перераспределения зарядов между ними.

В связи с этим вопрос о целесообразности и функциях тех или иных замкнутых контуров, имеющих в различных местах человеческого организма приобретают особый интерес.

С одной стороны любой из замкнутых контуров с достаточным основанием можно рассматривать как приемник электромагнитной энергии, которая преобразуется в силу закона Фарадея в ток отрицательно заряженных зарядов.

А это означает, что замкнутый контур в кровеносной системе в условиях постоянного воздействия небольшого по величине переменного во времени магнитного поля ("клише" на магнитограмме спокойного дня см. рис. 6) может служить одним из источников пополнения отрицательными зарядами организма человека.

Отсюда можно допустить, что наличие замкнутых контуров в организме человека, способных воспринимать электромагнитную энергию, является жизненной необходимостью и отвечает нормальным условиям длительного существования человека в среде с меняющимся во времени магнитным полем.

С другой стороны при систематическом воздействии магнитного поля при больших значениях  $\partial B / \partial t$  замкнутые контура как приемники электромагнитной энергии могут быть источниками расстройства нерв

ной системы человека и ответственными за образование тромбов.

Поэтому определение научно-обоснованных доз воздействия переменным во времени магнитным полем на организм человека является одной из актуальных задач современной биофизики.

Это важно не только для познания общих закономерностей работы сердечно-сосудистой системы человека в целом, но и для решения повседневных задач медицины настоящего времени.

К числу таких задач, можно отнести, обеспечение мер по предотвращению профессиональных заболеваний, например, у машинистов электровозов, подвергающихся воздействию изменений постоянного тока, жизнеобеспечение космонавтов, работа которых в открытом космосе становится у нас на глазах обычным занятием, и ряд других.

При решении указанных вопросов мы снова столкнемся с проблемой гепарина, его определяющей и многогранной ролью в электрическом балансе крови.

Тот факт, что наибольшее количество гепарина содержится в легких, говорит о наиболее важном и первостепенном значении замкнутого контура в малом круге кровообращения.

По-видимому, можно судить о значении и месте замкнутых контуров в организме человека по количеству и скорости выделяемого гепарина.

#### § 5. Экспериментальные данные и гипотеза действия солнечной активности на сердечно-сосудистую и нервную системы человека

В ряде работ показано, что кровь и кроветворные органы являются очень чуткими индикаторами солнечной активности.

Японскими учеными (М. Таката, Т. Мурацу, С. Таката) с 1935 года исследуется реакция крови на солнечное излучение и названная ими реакцией "F".

Характерной особенностью реакции "F" является то, что она имеет отчетливо выраженный суточный ход, зависит от высоты и является своеобразным индикатором солнечной активности, так как прохождение больших групп пятен через центральный меридиан Солнца сопровождается всегда подъемом хода реакции " ".

Для реакции "F" характерны II-летний цикл и 27-дневный период, связанный с обращением Солнца вокруг своей оси.

Существенно то, что реакция "F" проявляется лишь при условии хорошей изоляции донора и лаборанта, берущего кровь. В этом случае и донор и лаборант подвержены всем изменениям внешней среды, а наличие приемного консура в малом круге кровообращения превращает испытываемого в своеобразный резонатор, чутко реагирующий на колебания электрического и магнитного полей Земли.

Тот факт, что реакция "F" наблюдается лишь при условии хорошей изоляции от Земли донора и лаборанта, говорит о влиянии на кровь человека не только временных колебаний магнитного поля Земли, но и влияния изменений концентрации отрицательных ионов кислорода в единице объема воздуха при увеличении или уменьшении температуры окружающей среды.

Советским врачом Н.А. Шульцем установлена другая не менее важная реакция кроветворных органов на солнечную активность, а именно, уменьшение в крови лейкоцитов с одновременным увеличением лимфоцитов при возрастании солнечной активности.

Н.А. Шульц пришел к таким выводам после обработки и анализа 300 тыс. анализов крови, взятых в различных странах СССР, Италии, Бельгии, Франции, Англии и т.д.



Крайне важным выводом Н.А.Шульца является то, что у Северного и Южного полюсов кровь более интенсивно реагирует на изменение солнечной активности, а в зонах, прилегающих к экватору даже в периоды максимальной солнечной активности существенных изменений в крови не наблюдается.

Так по этому вопросу Н.А.Шульц пишет: " Мы брали анализы крови у коренного населения Сочи в периоды максимумов солнечной активности в 1957 году. Число лейкоцитов ниже 3000 в одном кубическом миллиметре отмечалось ежедневно и довольно в значительных количествах. При падении солнечной активности это стало редкостью. В это же время в Ленинграде такие явления были еще часты. А по данным, полученным из Заполярья, число их оставалось довольно высоким. В то же время в период максимума солнечной активности наивысшего за последние сто лет, ни у жителей Африки, ни Индонезии, заметных изменений в численности белых кровяных телец не замечалось!..."

Таким образом резко выраженный широтный характер лейкоцитарных тестов Шульца непосредственно увязывается с общими закономерностями распределения возмущений магнитного поля Земли во время солнечной активности.

Интересные исследования с 1949 года в Иркутске проводятся А.Т.Платоновой по свертываемости крови здоровых людей. В результате проведенных исследований установлено, что показатель свертываемости крови испытывает колебания в определенном синхронизме с изменениями солнечной активности.

Характерно, что для определенной части людей способность крови к свертыванию во время максимума 1957-58 г.г. понижается, а в то же время для другой части людей-свертывающая способность крови повышается.

Французскими учеными (врачами М.Фор, Г.Сорду и астрономом Ф.Валло) за период с 1922 по 1942 годы собран большой материал, который позволил им установить связь между прохождением солнечных пятен через центральный меридиан Солнца и обострением сердечно-сосудистых заболеваний.

На основе статистики французские ученые пришли к выводу, что 80% случаев обострения сердечно-сосудистых заболеваний синхронно совпадают с увеличением солнечной активности, проявлением которой является пятнообразовательная деятельность с максимумом, получающимся при прохождении пятен через центральный меридиан Солнца.

Изучая солнечно-земные связи Б.А.Рывкин при заболеваниях инфаркта миокарда с 1960 по 1963 г.г. в Ленинграде установил, что в периоды повышения солнечной активности наблюдается более высокое число случаев инфаркта миокарда.

Важно, что при анализе связи увеличения случаев инфаркта миокарда с солнечной активностью Б.А.Рывкин пришел к выводу, что не абсолютная и суммарная величина солнечной активности является основной в обострении сердечных заболеваний, а сколько ее темп и величина превышения исходного уровня.

Свердловские врачи К.Ф.Новикова, Т.Н.Панов и А.И.Шушаков, изучая проблему геомагнитные возмущения и инфаркты миокарда, пришли к выводу (21), " что при сильных магнитных бурях от инфаркта миокарда больные погибают в II раз чаще, а при сильных магнитных бурях - даже в I6 раз чаще, чем при слабых магнитных бурях. Все эти данные статистически достоверны.... "

В то же время имеется ряд исследователей, которые не находят закономерностей между солнечной активностью и обострениями заболеваний сердечно-сосудистой системы человека.

Столь противоречивые результаты объясняются тем, что ряд опытов проводился в течение достаточно длительного времени и это позволило найти определенную статистическую закономерность, в то же время другая часть экспериментов проводилась, по-видимому, в относительно короткий интервал времени, когда результаты обработки, естественно должны расходиться с принятыми в ходе экспериментов индексами солнечной активности, которые по своему определению отражают усредненные по времени процессы на Солнце.

Вследствие того, что принятые и вновь принимаемые индексы солнечной активности являются для каждого исследователя различными и в целом не отражают динамики процессов на Солнце, то и сами результаты по изучению солнечно-земных связей в большинстве своем носят статистический и индивидуальный характер.

Это в свою очередь не позволяет на базе таких исследований провести их обобщающий анализ и попытаться выяснить конкретный механизм действия солнечной активности на тех или иных представителей биосферы Земли.

Есть ли в современной жизни и в больших масштабах условия для профессиональной работы людей, аналогичные условиям воздействия на организм человека солнечной активности?!

**Да, есть!**

Это профессии людей, специальность которых связана с обслуживанием электромеханизмов, работающих на постоянном токе при их постоянном включении и выключении.

Тогда в условиях динамически меняющейся токовой нагрузки  $i = U(t)$  организм человека будет подвергаться воздействию переменного по времени магнитного поля.

Результатом подобного воздействия должно быть профессиональное расстройство сердечно-сосудистой и нервной систем.

К профессиям, у которых следует предполагать расстройство сердечно-сосудистой и нервной систем, относятся:

- водители электровозов, тройлейбусов, крановщики, работающие на кранах с использованием постоянного тока, физики и персонал, занятый на работе по обслуживанию современных ускорителей, работающих по времени в импульсном режиме и ряд других профессий, имеющих по роду своей деятельности непосредственный контакт с источниками переменного во времени магнитного поля.

К числу неизвестных до сего времени параметров внешней среды, дополнительно отягощающих условия работы на Севере, особенно в районах, непосредственно примыкающих к зонам полярных сияний, следует также отнести более сильные воздействия магнитных бурь на человеческий организм с постоянной тенденцией к соответствующему расстройству сердечно-сосудистой и нервной систем человека.

В последние годы в печати стало все больше и больше появляться экспериментальных данных, свидетельствующих прямо, или косвенно о том, что электрический заряд крови является одним из основных показателей нормального или паталогического состояния организма человека в целом.

Так, например, выступая на XV Конгрессе лауреатов Нобелевской премии в июне 1965 года, американский профессор Уолтер Браннтен сообщил об обнаружении электрического потенциала между кровью и стенками кровеносных сосудов, который предотвращает свертывание крови. Если устранить этот потенциал, то может развиваться тромбоз ( 37 ).

Д-р Дональд Хаббард, химик Национального бюро стандартов США, проводивший в течение ряда лет исследование свертывания крови в зависимости от ионных зарядов известных материалов, сообщил, что успех имплантирования или замены участков системы кровообращения зависит от ионной природы использованного материала. Д-р Хаббард подверг испытанию пластмассовые материалы, из которых выполнялись сердечные клапаны и искусственные артерии и вены, и установил, что плетеные нейлоновые и тефлоновые искусственные кровеносные сосуды эффективны благодаря тому, что обладают небольшим отрицательным зарядом, обеспечивающим защиту против внутреннего кровотечения.

Он отметил также, что в живой вене можно искусственно вызвать свертывание крови путем введения в нее нитки, несущей отрицательный заряд. Эффективные народные средства, применяемые для остановки кровотечения такие, как паутина или жевательный табак, тоже несут отрицательные заряды ( 38 ).

В 1956 году группа врачей Медицинского центра в Бруклине высказала предположение, что турбулентность, естественно возникающая в некоторых участках кровеносной системы, вызывает при определенных физиологических условиях и поддерживает процессы развития атеросклероза. Д-р Чарльз Фрис искусственно вызвал турбулент-

ность кровотока в одном участке артерии собаки, после чего в этом участке были обнаружены резко выраженные атеросклеротические поражения (39).

Интересное сообщение (40) было опубликовано о работах американского инженера Дж. Бола из университета в Сиракузах (штат Нью-Йорк), который применил для снятия кардиограмм индукционные датчики, реагирующие на магнитное поле, создаваемое деятельностью сердца. Разработанный им метод позволил снимать кардиограмму в течение одной минуты. Об аналогичных работах стало известно и у нас в Союзе: (41) в Воронеже научные сотрудники Политехнического и Медицинского института создали магнитокардиографический аппарат. Сложность задачи заключалась в регистрации и анализе очень слабых по напряженности магнитных полей при наличии помех от магнитного поля самой Земли, от промышленных установок и бытовой электросети. Прибор состоял из индукционного датчика, высокочувствительного усилителя и специального регистрирующего устройства.

Исследования проводились в специальной стальной кабине, игравшей роль магнитного экрана. В результате был собран чрезвычайно интересный материал. Магнитокардиограммы позволили получить принципиально новые сведения о работе сердца, его заболеваниях и открыть путь к ранней диагностике целого ряда заболеваний (дистрофии миокарда, гипертрофии сердечных мышц и др.). Ряд явлений, ускользавших от электрокардиографии, оказалось возможным улавливать с помощью магнитокардиографического прибора.

В начале 1967 года в Ленинградском университете, в лаборатории физиологической кибернетики был сделан мощный зондирующий усилитель. С его помощью группе ученых во главе с профессором

П. Гуляевым удалось зарегистрировать на расстоянии электрическое поле, возникающее при биении сердца и имеющее частоту этого биения (42). Ритмическая пульсация поля позволила выделить его в хаотическом смещении полей, возникающих вокруг мускулатуры человека. Датчик прибора был отнесен от тела на 25 см — больше не позволила камера, защищающая прибор от большой совокупности электрических полей, пронизывающих пространство любого современного помещения.

Д-р Роберт Лейнинджер и Чарльз Купер пишут в журналах "Баттель техникал ревью" (июнь 1965 г.), что основным препятствием при изготовлении искусственных сердец, сердечных клапанов, артерий и перепонки является несовместимость большинства материалов — полимерных и других — с кровью или, проще говоря, вызываемый ими эффект свертывания крови (43). Однако причину этого они видят, главным образом, в механических свойствах применяемых материалов, а отсюда ясен их подход к разрешению проблемы: поиски пластмассы с возможно меньшим коэффициентом трения, предварительная обработка пластмассы графитом, а затем гепарином, а не в электрических свойствах крови, знание которых позволяет приступить к решению подобных проблем с принципиально новых точек зрения.

В журнале "Сайенс ньюс" за 1966 г. апрель месяц сообщено, что изменение заряда стенок кровеносных сосудов может быть причиной образования тромбов.

Предполагается, что внутренняя поверхность кровеносных сосудов имеет отрицательный электрический заряд и поскольку клетки крови имеют такой же заряд, то между клетками крови и

стенками кровеносных сосудов не существует взаимного притяжения.

Когда в результате естественных процессов или в результате воздействия тока электрический заряд стенок кровеносных сосудов меняется на положительный, то в этом месте может развиваться тромбоз.

Практическим выходом из таких исследований явилось неиспользование постоянного тока с целью приостановления кровотока.

Доктор Сойер сообщил ( 44 ), что свертывание крови удалось ускорить в тысячу раз, что в свою очередь позволило приостанавливать кровотечения, которые другим способом приостановить было невозможно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен предполагаемый механизм воздействия солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека.

Этот механизм определяется рядом взаимосвязанных факторов.

Во время солнечной активности, проявлением которой является пятнообразовательная деятельность Солнца, на поверхности Земли, взаимодействия с магнитным полем Земли потоков солнечных частиц имеют место магнитные бури.

При этом колебания земного магнитного поля проявляются главным образом в резком изменении величины и направления горизонтальной составляющей поля.

Характерной особенностью магнитных бурь является то, что амплитуда горизонтальной составляющей поля должна возрастать при перемещении от экватора, на котором ее значение близко к нулю, к



полярным зонам, где она будет достигать максимальных значений.

Следовательно в периоды солнечной активности, особенно во время ее максимума, биосфера Земли непосредственно подвергается воздействию переменного во времени магнитного поля, когда значения производных от индукции поля по времени могут достигать значительных величин в течение конечного интервала времени.

Такое воздействие магнитного поля на живую и неживую природу Земли носит универсальный характер на живую и неживую природу Земли носит универсальный характер и является одним из основных факторов, определяющих влияние солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека.

Другим важным фактором является то, что малый круг кровообращения в организме человека в течении конечного интервала времени можно рассматривать как приемный контур электромагнитной энергии.

Этот контур состоит из следующих элементов:

- 1) из правого и левого ответвления легочной артерии
- 2) двух легких с поверхностью капилляров в 140 кв. метров.
- 3) четырех легочных вен
- 4) левого предсердия, выполняющего роль резервуара во время слива крови под действием сердца как насоса.

Воздействие на человеческий организм переменного во времени магнитного поля в силу закона Фарадея приводит к появлению в малом круге кровообращения как замкнутом контуре токов, которые своим дополнительным электрическим полем могут нарушать

радикальную устойчивость движения эритроцитов в сосудах и приводить к синхронному изменению в соответствии выработанными индексами солнечной активности общей картины крови.

Фатальный исход, инфаркт миокарда или инсульт, либо избыточное нервное перенапряжение, влекущее за собой возможность совершения человеком в большом количестве тех или иных ошибок, или профессиональное заболевание в конечном итоге определяется индивидуальными особенностями здоровья человека и количественными характеристиками переменного магнитного поля.

В связи с этим возникает острая необходимость разработки научно-обоснованных средств защиты организма человека от солнечной активности.

Особенно, важным следует считать определение допустимых доз облучения различных органов человека переменным во времени магнитным полем, т.е. нахождение предельно допустимых значений  $\partial B / \partial t$ , времени и частоты их воздействия, так как только совокупность этих величин будет предопределять те или иные воздействия магнитного поля на организм человека.

Необходимо особо подчеркнуть, что весьма широко распространенное мнение о якобы малых величинах, или малых дозах солнечной активности, действующих на биосферу Земли по существу может оказаться неправильным, так как, например, в механизме действия солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека основным параметром внешней среды, определяющим те или иные изменения, является производная индукции по времени  $\partial B / \partial t$ , а не абсолютная величина  $B$ .

В заключение автор считает своим долгом принести глубокую благодарность Нине Вадимовне Чижевской за постоянное, целенаправленное содействие и разностороннюю помощь при написании этой работы.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.С.Пресман. Электромагнитные поля и живая природа. Издательство "Наука" Москва 1968.
2. Ю.А.Холодов. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. Издательство "Наука" Москва 1966 г.
3. А.Л.Чижевский. Действие ионизированного воздуха на кровь. Труды ЦНИЛИ т. I. Воронеж 1933.
4. А.Л.Чижевский. Про периодичность зачаточной смертности "Профилактична медицина" Харьков 1930.
5. А.Л.Чижевский, Л.Л.Васильев. Проблема органического электрообмена. Труды ЦНИЛИ т. III. Воронеж 1934.
6. А.Л.Чижевский. Структурный анализ движущейся крови. Издательство АН СССР Москва 1959.
7. А.Л.Чижевский. Электрические и магнитные функции эритроцитов. "Наукова думка" Киев, 1973.
8. А.Л.Чижевский. Аэризация в народном хозяйстве. Госполитиздат Москва 1960.
9. Я.Н.Френкель. Теория явлений атмосферного электричества. Государственное издательство технико-теоретической литературы Ленинград-Москва 1949.
10. Р.Фейман, Р.Лептон, М.Сэндс. Фейнмановские лекции по физике Издательство "Мир" Москва 1966.
11. Б.М.Яновский. Земной магнетизм. Государственное издательство технико-теоретической литературы Москва 1953.
12. Н.П.Бенькова. Спокойные солнечно-суточные вариации земного магнетизма. Труды научно-исследовательских учреждений Гидрометеорологической службы СССР, серия У1, земной магнетизм, вып. I. Гидрометиздат Москва-Ленинград. 1941.

13. Н.П.Бенькова Магнитные бури и система электрических токов.Труды НИИЭМ вып.10 (12) Гидрометиздат 1953.
14. Справочник по переменному магнитному полю СССР Научно-исследовательский институт земного магнетизма.Главное Управление Гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР Гидрометиздат Ленинград 1954.
15. Б.А.Тверской.Динамика радиационных поясов Земли Издательство "Наука" Главная редакция физико-математической литературы Москва 1968.
16. Дональд Г.Мензел. Наше Солнце.Государственное издательство физико-математической литературы Москва 1943.
17. Р.Брен и Р.Лоухед. Солнечные пятна.Издательство "Мир" Москва 1967.
18. Ю.И.Витинский "Солнечная активность" Земля и Вселенная № 2 1968.
19. Н.П.Цимахович "Вместо чисел Вольфа-радиопоток" Сборник "Солнечная активность и жизнь" Издательство "Зинатие" Рига 1967.
20. Б.А.Рывкин "Солнечно-земные связи при сердечно-сосудистых заболеваниях". Сборник "Солнечная активность и жизнь" Издательство "Зинатие" Рига 1967.
21. К.Ф.Новикова, Т.Н.Панов, А.П.Шушаков "Геомагнитные возмущения и инфаркты миокарда" Сборник "Солнечная активность и жизнь" Издательство "Зинатие" Рига 1967.
22. А.Л.Чижевский "Об одном виде специфически-биоактивного или Z -излучения Солнца".Сборник Географическая серия "Земля во Вселенной.Издательство социально-экономической литературы. "Мысль" Москва 1964.

23. М.Токата, Т.Мурацуки, А.Токата *Acta Senologia et Immunologica*, Япония [redacted], v 2, № 2., 1941
24. Н.А.Шульц. Синфазность частоты функциональных колебаний лейкоцитов с колебаниями солнечной активности. Проблемы гематологии и переливания крови Москва 1959.
25. Н.А.Шульц. Влияние колебаний солнечной активности на кроветворение " Природа" № 6 92 Москва 1959.
26. Н.А.Шульц. Динамика изменений количества лейкоцитов в зависимости от изменений солнечной радиации "Лабораторное дело" № 2 26 Москва 1960.
27. Н.А.Шульц. Влияние колебаний солнечной активности на численность белых кровяных телец. Сборник. Географическая серия "Земля во Вселенной" Издательство социально-экономической литературы и мысль" Москва 1964.
28. П.А.Коржнев. Гемоглобин. Сравнительная физиология и биохимия. Издательство " Наука" Москва 1964.
29. А.Л.Чижевский. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины № 12 443 Москва 1951.
30. А.Л.Чижевский. Известие АН СССР № 5 97 1953.
31. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. Государственное издательство физико-математической литературы Москва 1959.
32. В.Смайт. Электростатика и электродинамика. Издательство иностранной литературы Москва 1954.
33. В.И.Данилов, И.В.Пузынин. Электростатическое поле равномерно заряженных объемов цилиндрической конфигурации. Препринт ОИЯИ Р-2131 Дубна 1965.

34. И.С.Градштейн, И.М.Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. Государственное издательство физико-математической литературы Москва 1963.
35. В.В.Парин и Ф.З.Меерсон "Очерки клинической физиологии кровообращения " Медгиз 1960.
36. А.Блюменфельд. Кому угрожает инфаркт миокарда. Издательство "Медицина" Москва 1966.
37. Электрический потенциал между кровью и стенками сосудов. Бюллетень иностранной научис-технической информации ТАСС № 56 (1050), 15 июля 1965.
38. "Сайенс Ньюс Леттер" США т.82 № 4 6 Октябрь 1962, стр.225.
39. Турбулентность кровотока и атеросклероз. Газета "Нью-Йорк таймс" 15 ноября 1961 г.
40. "Нью Саиентист" т.29 № 486 10 марта 1961, стр.635.
41. Магнит и сердце "Комсомольская правда" № 18 (127 88) 21/1-1967.
42. П.И.Гуляев, В.И.Заботин, И.Я.Шлипиенбах. Электроаураграмма нерва, мышцы и сердца лягушки, сердца и мускулатуры человека ДАН т.180 № 6 1968.
43. "Баттель техникаль ревью" июнь 1965.
44. "Сайенс Ньюс" т.89 № 15 9 апреля 1966, стр.247.

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СОЮЗА ССР  
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО МИКРОБИОЛОГОВ  
И ЭПИДЕМИОЛОГОВ им. И. И. МЕЧНИКОВА

Ж У Р Н А Л  
МИКРОБИОЛОГИИ  
ЭПИДЕМИОЛОГИИ  
И  
ИММУНОБИОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

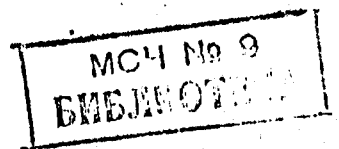
Главный редактор И. И. ЕЛКИН,

В. И. АГАФОНОВ, А. К. АКАТОВ, Н. П. БУРГАСОВ, А. А. ВОРОБЬЕВ,  
П. Ф. ЗДРОДОВСКИЙ, В. Н. ИЛЬЯШЕНКО, А. Т. КРАВЧЕНКО,  
С. М. КУЛАГИН (заместитель главного редактора), В. С. ЛЕВАШЕВ,  
Г. П. НИКОЛАЕВСКИЙ, В. И. ПОКРОВСКИЙ, Б. Ф. СЕМЕНОВ (замес-  
титель главного редактора), В. В. СЕРГЕЕВ (ответственный секретарь),  
В. Р. СОБОЛЕВ, А. А. СУМАРКОВ (ответственный секретарь)

Основан в 1924 г.

2

ФЕВРАЛЬ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА»  
Москва — 1974

4063/10

*В. С. Левашев, В. И. Данилов, М. Г. Давыдова, С. С. Белокрысенко и В. А. Богач*

**ВЛИЯНИЕ МЕДЛЕННО МЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
НА ПРОДУКЦИЮ ФАГА  $\lambda$  ЛИЗОГЕННЫМИ БАКТЕРИЯМИ E. COLI K12 ( $\lambda$ )**

II Московский медицинский институт им. Пирогова (Поступила 30/X 1972 года)

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал, подтверждающий факт воздействия магнитных полей на биологические объекты [5, 7, 9]. Однако экспериментальные результаты нередко противоречивы и зачастую плохо воспроизводимы. В значительной мере это объясняется тем, что в большинстве экспериментов используемые магнитные поля характеризуются в какой-либо точке объема без учета его распределения по пространственным координатам и направленности вектора индукции.

Мы изучали действие вертикально и горизонтально направленных магнитных полей, медленно меняющихся во времени, а также воздействие перпендикулярно и горизонтально направленных постоянных магнитных полей на продукцию фага лизогенными бактериями.

Для создания экспериментального магнитного поля, медленно меняющегося во времени, использовали специальную установку; основной ее частью явились две взаимно перпендикулярно расположенные магнитные



системы, каждая из которых состояла из двух катушек, расположенных по обе стороны рабочего объема. Одна магнитная система создавала поле с вертикальным направлением вектора напряженности, другая — с горизонтальным. Обе системы включались поочередно в цепь электропитания от двухполупериодного выпрямителя со сглаживающим фильтром. При этом напряженность магнитного поля в рабочем объеме могла достигать 3 Э. В установке предусмотрена возможность изменения полярности магнитного поля каждой из систем. Ток выпрямителя, который регулировали при помощи автотрансформатора, вращаемого двигателем, имел пилообразную форму с длительностью нарастания амплитуды в одном импульсе 320 с. Постоянное магнитное поле создавали в установке при отключении двигателя, вращающего автотрансформатор.

Благодаря наличию двух магнитных систем, питаемых от одного и того же источника, можно было изучать порознь влияние как горизонтально, так и вертикально направленных магнитных полей, меняющихся во времени. Эксперименты проводили одновременно в двух аналогичных установках, одна из которых была опытной (включалось электропитание), а другая контрольной (не включалось электропитание). В рабочих объемах устанавливали термостаты, изготовленные из немагнитных материалов, в которых поддерживалась температура  $37 \pm 0,1^\circ$ .

Количественным критерием, позволившим оценить влияние медленно меняющегося во времени магнитного поля на опытный штамм, служил титр фага в лизогенной культуре.

Для изучения магнитной индукции фага была использована методика, применяемая для исследования индукции фага ультрафиолетовым излучением [2]. Суточную культуру, разведенную 1:100, подращивали до концентрации  $1,5 \times 10^7$  ( $37^\circ$  с аэрацией), после чего в количестве 5 мл помещали в магнитное поле в чашке Петри. После воздействия магнитным полем бактерии разводили в 10 раз свежей питательной средой и помещали в термостат для дополнительной инкубации при  $37^\circ$  с аэрацией.

Количество свободного фага в опытной и контрольной культурах определяли по стрептомициновой методике Бертани [2, 3]. Эффект оценивали коэффициентом индукции фага  $K = \frac{N_{оп}}{N_{к}}$ , равным отношению титра

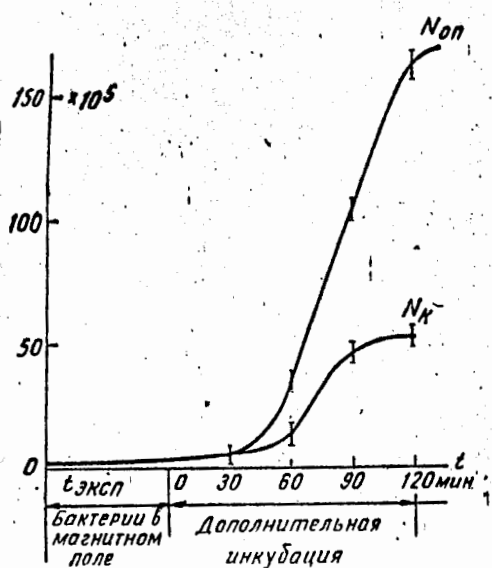
фага в опытной пробе к титру фага в контрольной. В работе были использованы следующие штаммы: *E. coli* K12 ( $\lambda$ ) — лизогенный по фагу  $\lambda$  штамм, на котором изучали индукцию фага; *E. coli* C Str<sup>R</sup> — индикаторный штамм для фага  $\lambda$ , устойчивый к 500 ед. Str/мл.

Среды: жидкая среда для выращивания лизогенных бактерий — бульон бычьего сердца с дрожжевым гидролизатом, мясо-пептонный бульон (МПБ) — среда для выращивания индикаторного штамма, среда для титрования фага — 1,3% мясо-пептонный агар (МПА) с добавлением  $MgSO_4$  в концентрации 0,01 М. Верхний слой — 0,7% МПА. Среда для разведения — 0,85% раствор NaCl.

В культуре *E. coli* K12 ( $\lambda$ ), находившейся в течение часа в горизонтально направленном, меняющемся во времени магнитном поле, не было обнаружено отличий от контроля в титре свободного фага и числе жизнеспособных бактерий. При дополнительной инкубации опытной и контрольной проб вне магнитного поля титр фага в опытной пробе, начиная с 50-й минуты, увеличивался по сравнению с контрольной и достиг максимума на 120-й минуте (см. рисунок).

Коэффициент индукции фага в этом случае был равен  $K = 3,3 \pm 0,08$  при  $P < 0,01$ . При этом опытная и контрольная пробы не различались по концентрации жизнеспособных бактерий. Увеличение экспозиции в магнитном поле до 3 ч дало более высокие коэффициенты индукции:  $3,21 \pm 0,07 < K < 5,49 \pm 0,11$  при  $P < 0,01$ .

В вертикально направленном меняющемся во времени магнитном поле не было выявлено разницы в продукции фага в контрольных и опытных про-



Индукция фага  $\lambda$  магнитным полем у лизогенных бактерий *E. coli* K12 ( $\lambda$ ).

$N_{оп}$  — титр фага в опыте,  $N_k$  — в контроле;  $t_{эксп}$  = 1 ч. Линейнорастущее по времени поле. По оси ординат — титр фага.

в направленном поле для бактерий  $K = 1,05 \pm 0,06$  при  $P < 0,01$ , для фага  $K = 1,06 \pm 0,08$  при  $P < 0,01$ ; в вертикально направленном поле для бактерий  $K = 1,09 \pm 0,07$  при  $P < 0,01$ , для фага  $K = 1,06 \pm 0,05$  при  $P < 0,01$ . Из этих данных следует, что имеет место непосредственное воздействие магнитного поля на лизогенные бактерии.

Таким образом, как следует из результатов проведенных опытов, на продукцию фага влияет только изменение во времени горизонтально направленного магнитного поля, т. е.  $\frac{\partial H}{\partial t}$ , а не абсолютное значение поля  $H$ .

Так как при определении числа жизнеспособных бактерий в контроле и опыте не получено достоверной разницы, то обнаруженное увеличение продукции фага лизогенными бактериями после их пребывания в магнитном поле можно отнести за счет индукции трофага горизонтально направленным, меняющимся во времени магнитным полем.

Интересно отметить, что латентный период в случае обнаруженной нами индукции профага магнитным полем не отличается по длительности от латентного периода при других видах индукции (магнитное поле 50—60 мин, рентгеновское излучение 50 мин, ультрафиолетовое — 60 мин). По величине коэффициента  $K$  обнаруженную нами индукцию фага в горизонтально направленном меняющемся во времени магнитном поле можно сравнить с индукцией малыми дозами (18 Р) рентгеновского излучения с энергией 15 кэВ [4].

Наиболее интересной и заслуживающей внимания, по нашему мнению, является достоверно обнаруженная разница в действии меняющихся во времени горизонтально и вертикально направленных магнитных полей. Является ли это свойство присущим только лизогенным бактериям *E. coli* K12 ( $\lambda$ ) или и другим биологическим объектам, покажут дальнейшие опыты.

Полученные результаты подтверждают гипотезу, высказанную одним из авторов статьи [6], что в процессе влияния магнитного поля на биологические объекты существенным фактором является  $\frac{\partial H}{\partial t}$ , т. е. изменение

бах как при часовой ( $K = 1,08 \pm 0,07$  при  $P < 0,01$ ), так и при 3-часовой экспозиции ( $K = 1,12 \pm 0,08$  при  $P < 0,01$ ).

В опытах с постоянным вертикальным и горизонтальным магнитным полем напряженностью 3 Э эффекта индукции фага не было обнаружено ни при часовой, ни при 3-часовой экспозиции (для вертикально направленного поля  $K = 1,09 \pm 0,07$  при  $P < 0,01$  для экспозиции 3 ч,  $K = 1,06 \pm 0,07$  при  $P < 0,01$  для экспозиции 1 ч; для горизонтально направленного поля  $K = 1,08 \pm 0,07$  при  $P < 0,01$  для экспозиции 3 ч,  $K = 1,07 \pm 0,08$  при  $P < 0,01$  для экспозиции 1 ч).

Питательная среда, подвергнутая в течение 3 ч воздействию меняющегося во времени магнитного поля, не оказывает влияния ни на интенсивность роста лизогенных бактерий, ни на уровень продукции фага. В горизонтально направ...

во времени напряженности магнитного поля  $H$ , а не его абсолютное значение. Такое предположение вытекает и из общих рассуждений при более широком рассмотрении вопроса.

При анализе факторов внешней среды, помимо обычных характеристик (температура, давление, влажность, радиация и т. д.), необходимо принимать во внимание и электромагнитную обстановку, характеристиками которой являются:  $E$  — напряженность электрического поля Земли;  $\frac{\partial E}{\partial t}$  — изменение напряженности электрического поля Земли;  $B$  — индукция магнитного поля Земли,  $B = \mu_0 \mu H$ , где  $H$  — напряженность магнитного поля Земли;  $\frac{\partial B}{\partial t}$  — изменение индукции магнитного поля Земли во времени;  $\rho$  — плотность заряженных частиц в единице объема;  $\epsilon$ ,  $\mu$  — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости;  $\vec{j}$  — плотность токов.

Все 6 параметров, определяющих электромагнитную обстановку внешней среды исследуемого объекта, входят в уравнения Максвелла, а так как взаимодействия между молекулами и в живой, и в неживой природе носят электромагнитный характер, то правомерно допущение, что протекающие во времени процессы в тех или иных биологических объектах находятся в динамическом равновесии с электромагнитными характеристиками внешней среды.

Если теперь сопоставить суточные изменения во времени плотностей энергии магнитного (для горизонтальной составляющей) и электрического (для вертикальной составляющей) полей, то получим:

$$\frac{\partial W^H / \partial t}{\partial W^E / \partial t} = \frac{\mu_0 \mu H \frac{\partial H}{\partial t}}{\epsilon_0 \epsilon E \frac{\partial E}{\partial t}} \sim 10^3,$$

где

$$W^H = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}; \quad W^E = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

соответственно (в системе СИ) плотности энергии магнитного  $W^H$  и электрического  $W^E$  полей;  $\mu_0$ ,  $\epsilon_0$  — магнитная и диэлектрическая проницаемость вакуума. При оценке принято, что  $\mu = 1$ ,  $\epsilon = 80$  для биологических объектов.

Из полученного соотношения видно, что изменение во времени плотности энергии магнитного поля Земли значительно больше по сравнению с изменением во времени плотности электрического поля Земли.

В процессе эволюции биологические системы нашей планеты на всех уровнях их развития формировались и развиваются под воздействием магнитного поля Земли. Естественно предположить, что в процессе своего развития биологические системы, находясь в динамическом равновесии с магнитным полем Земли, смогли приспособиться к нему и его влияние может входить в их норму реакции. В связи с этим особый интерес представляют эксперименты, в которых  $\frac{\partial B}{\partial t} \equiv 0$ .

Каков предполагаемый механизм действия медленно меняющихся во времени магнитных полей? В настоящее время заслуживают большого внимания работы, выполненные на молекулярном уровне. Особый интерес в этом плане представляют исследования свойств электронов в биологических макромолекулах [8, 9]. С каждой такой сложной молекулой связаны специфические токи, образованные движением делокализованных электронов. А при изменении магнитного поля во времени следует ожидать

по закону Фарадея  $\text{rot } \vec{E} \equiv \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ , т. е. возмущения пространственной и временной характеристик движения делокализованных электронов в биологических макромолекулах.

## Выводы

1. Воздействие на лизогенный штамм *E. coli* K12 ( $\lambda$ ) последовательными импульсами магнитного поля с медленно меняющейся напряженностью импульса от 0 до 3 Э за 320 с увеличивает продукцию фага  $\lambda$  до 6 раз по сравнению с контролем (индукция профага). Эффект обнаружен только в магнитном поле с горизонтально направленным вектором напряженности и количественно зависит от времени воздействия (числа импульсов). В аналогичном вертикально направленном магнитном поле индукции профага не обнаружено.

2. Постоянные во времени горизонтально и вертикально направленные магнитные поля не вызывают изменений в продукции фага лизогенными бактериями.

3. Избирательная индукция профага  $\lambda$  медленно меняющимися горизонтально направленными магнитными полями свидетельствует, что в биологических макромолекулах, участвующих в процессах индукции, существует пространственная поляризация делокализованных электронов.

ЛИТЕРАТУРА. 1. Lwoff A., Siminoryitch L., Kjeldgaard N., *Ann. Inst. Pasteur*, 1950, v. 79, p. 815.—2. Bertani G., *Advanc. Virus Res.*, 1958, v. 5, p. 151.—3. Bertani G., *J. Bact.*, 1951, v. 62, p. 293.—4. Marcovich N., *Etude Radiobiologique du système lysogène E. coli K12 ( $\lambda$ )*. Paris, 1957.—5. Jennison M. W., *J. Bact.*, 1937, v. 33, p. 461.—6. Данилов В. И. В кн.: *Материалы 4-й научной конференции по проблеме: «Климат и сердечно-сосудистая патология»*. М., 1969, с. 16.—7. Busby D. E., *Space Life Sci.*, 1968, v. 1, № 1, p. 23.—8. Пюльман Б. *Электронная биохимия*. М., 1966.—9. Сент-Дьердьи А. *Введение в субмолекулярную биологию*. М., 1964.

УДК 576.851.48.097.35

О. Д. Печенин

## ИЗУЧЕНИЕ ЭПИСОМНЫХ ФАКТОРОВ ГЕМОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ КИШЕЧНЫХ ПАЛОЧЕК

Курский медицинский институт (Поступила 23/X 1972 года)

Как стало известно из работы Smith и Halls [11], один из эписомных детерминантов наследственности кишечной палочки, названный авторами Hly-фактор, контролирует признак гемолитической активности. Следует подчеркнуть, что способность кишечных палочек продуцировать гемолиз рассматривается некоторыми авторами [1, 3, 8 и др.] как один из существенных признаков патогенности *E. coli*. Однако эписомные факторы, контролирующие гемолитическую активность кишечных палочек (Hly-факторы), изучены еще очень мало. Имеются лишь отдельные сообщения о распространении Hly-факторов в естественных популяциях кишечных палочек человека и животных [4, 7, 11] и взаимодействии этих внехромосомных факторов с другими эписомами [6, 12—14].

Мы поставили перед собой следующие задачи: изучить распространение гемолитически активных кишечных палочек и Hly-факторов в естественных популяциях *E. coli* у детей первых 2 лет жизни, больных острыми кишечными заболеваниями различной этнологии; установить, как часто у *E. coli*, выделенных от больных детей, сочетаются признаки лекарственной устойчивости, колициногенности и гемолитической активности, а также выяснить влияние первых двух свойств на трансмиссивность признака гемолитической активности.

С целью определения указанных выше признаков были изучены популяции кишечных палочек от 100 детей. Для выявления неоднородности