

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Л. В. ГРУНСКАЯ

ГЕОФИЗИКА И БИОРИТМЫ

Учебное пособие

В двух частях

Часть 1



Владимир 2018

УДК 550.3
ББК 26.2я73
Г90

Рецензенты:

Доктор медицинских наук
профессор кафедры нормальной физиологии Медицинского института
Российского университета дружбы народов
А. Е. Северин

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой биомедицинских и электронных средств и технологий
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Л. Т. Сушкова

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Грунская, Л. В.

Г90 Геофизика и биоритмы : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 /
Л. В. Грунская ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. –
Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 180 с.
ISBN 978-5-9984-0864-9

Материал, представленный в первой части учебного пособия, посвящен изучению основ физики взаимосвязи геофизических процессов и полей с биоритмами человека, механизмов геобиологических связей и их влияния на адаптационные функции организма человека.

Предназначено в помощь студентам и преподавателям при изучении или преподавании дисциплины «Геофизика и биоритмы» по направлениям подготовки 51.04.00 «Физика», 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии», дисциплин «Биофизические основы живых систем», «Биоритмология».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 30. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

УДК 550.3
ББК 26.2я73

ISBN 978-5-9984-0864-9

© ВлГУ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. БИОРИТМЫ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ	6
1.1. Классификация биологических ритмов	6
1.1.1. Ритмы в природе	6
1.1.2. Биологические ритмы и их классификация	15
1.2. Биологические часы и их проявление в живой природе	17
1.2.1. Биологические часы.....	17
1.2.2. Проявление биологических ритмов в природе.....	19
1.2.3. Космические ритмы. Биоритмология	40
1.2.4. Биоритмы, управляемые солнечной активностью	48
1.3. Физиология биологических часов в живых организмах. Природа и механизм работы биологических часов. Возможности управления биологическими часами	59
1.3.1. Местоположение биологических часов в живых организмах.....	59
1.3.2. Природа и механизм работы биологических часов	63
1.3.3. Возможности управления биологическими часами.....	72
1.3.4. Практическое использование управления биологическими ритмами в биологии.....	86
Заключение к главе	91
Контрольные вопросы	93
Глава 2. ВЛИЯНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОРИТМЫ ЧЕЛОВЕКА	94
2.1. Геофизические механизмы влияния солнечной активности на организм. Влияние гелиогеофизических факторов на синхронизацию психологического состояния организма.....	96

2.2. Изменение адаптационных реакций организма под влиянием геофизических полей	108
2.3. Влияние электромагнитных полей геофизической природы на биологические ритмы. Влияние гелиогеофизических факторов на синхронизацию психофизиологического состояния организма.....	117
2.3.1. Три вида воздействия ЭМП на биологический ритм.....	117
2.3.2. Экспериментальное исследование воздействия ЭМП на биологические ритмы.....	119
2.3.3. Околонедельные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля	121
2.4. Влияние Луны на биоритмы. Биоритмы, управляемые солнечной активностью	133
2.5. Солнце как источник электромагнитного излучения	140
2.6. Вариации космических лучей в биосфере	152
2.7. Современные представления о взаимосвязи биологических и геофизических ритмов	161
Заключение к главе	170
Контрольные вопросы	172
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	175
ПОСЛЕСЛОВИЕ	178
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	179

ВВЕДЕНИЕ

Все живые организмы обладают биологическими ритмами. Биологические ритмы – это периодически повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. Жизнедеятельность человека на Земле непосредственно связана с глобальными геофизическими процессами и полями Земли. Все большее значение в науке приобретает направление, связывающее процесс поддержания здоровья нации с учетом биоритмов каждого индивидуума. Значительную роль в работе этого механизма играют геофизические электромагнитные поля, которые являются одной из форм информационно-энергетического взаимодействия биосистем и, возможно, обеспечивают согласование биоритмов с изменениями геофизических факторов. Изучение таких взаимосвязей открывает пути к изучению механизма их целенаправленного действия на адаптационные функции организма. За последние годы значительно усилилось внимание к проблеме биологического действия геофизических электромагнитных полей и процессов. Назревшая необходимость их изучения обусловлена многими факторами.

На изменения естественных электромагнитных полей накладываются поля антропогенного происхождения, создающие фон «электромагнитных загрязнений» биосферы. Любой биологический объект, в том числе человек, испытывает непрерывное действие суммарного электромагнитного фона, создаваемого различными источниками и изменяющегося по своим ритмам. Доказано, что геомагнитное поле – один из важнейших факторов окружающей среды, определяющий само существование человека и живых организмов. В связи с этим в последнее время всесторонне и комплексно исследуются биологически активные гелиогеофизические факторы и антропогенные излучения внешней среды.

Таким образом, изучение вопроса о механизмах геобиологических связей тесно связано с современными проблемами физики атмосферы Земли, биофизики, геофизики, биометеорологии, гравитационной биологии.

Глава 1. БИОРИТМЫ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

1.1. Классификация биологических ритмов

1.1.1. Ритмы в природе

Все живые организмы, начиная от простейших одноклеточных и кончая такими высокоорганизованными, как человек, обладают биологическими ритмами, которые проявляются в периодическом изменении жизнедеятельности и, как самые точные часы, отмеряют время. С каждым годом ученые находят новые внутренние ритмы. Если в 1931 г. шведскими учеными Г. Агреном, О. Виландером и Е. Жоресом впервые было доказано существование суточного ритма изменения содержания гликогена (одного из важнейших компонентов тканей человека) в печени и мышцах, то в 60-х гг. обнаружено уже более пятидесяти физиологических функций, имеющих суточную периодичность. В настоящее время их насчитывается более ста.

Интенсивность большинства физиологических процессов на протяжении суток имеет тенденцию повышаться в утренние часы и падать в ночное время. Примерно в эти же часы повышается чувствительность органов чувств: человек утром лучше слышит, лучше различает оттенки цветов.

Изучение биологических ритмов организма человека позволит научно обосновать применение лекарственных препаратов при лечении больных.

В последние годы в нашей стране и за рубежом проводятся значительные работы по исследованию биологических ритмов организма человека, их взаимосвязи со сном и бодрствованием. Поиски исследователей направлены в основном на определение возможностей управления биоритмами с целью устранения нарушений сна. Задача эта особенно актуальна в настоящее время, когда значительная часть взрослого населения земного шара страдает от бессонницы. В связи с этим представляют интерес новые наиболее эффективные и совершенно безвредные методы устранения нарушений сна, в основе которых лежат воздействия различными ритмическими раздражителями. Наряду с широко используемым в настоящее время прибором «Электросон» для улучшения ночного сна разработан аппарат «Ритмо-

сон». При помощи ритмически подаваемых световых и звуковых сигналов он воздействует на центральную нервную систему человека, перестраивая ритмы организма.

Исследования последних лет показали, что сущность расстройств сна заключается в нарушении нервных процессов, которые возникают вследствие изменения ритма функционирования различных органов и систем. Нормализуя эти процессы при помощи ритмического воздействия, можно в значительной степени улучшить ночной сон. Таким образом, внешние ритмы световых и звуковых воздействий управляют внутренними ритмами организма человека.

Управление внутренними ритмами человека имеет важное значение не только для нормализации ночного сна, но и для устранения ряда заболеваний нервной системы, имеющих функциональный характер (например, неврозов). Установлено, что суточные изменения внутренних ритмов, свойственные здоровому человеку, при болезненных состояниях искажаются. По характеру искажений врачи могут судить о ряде заболеваний на начальной стадии.

По-видимому, большинство болезней у человека происходит вследствие нарушения ритма функционирования ряда органов и систем его организма. Поэтому изучение сна человека с позиций его биологических ритмов имеет большое значение. Если совсем недавно, всего лишь два десятка лет тому назад, сон считали однородным состоянием, то теперь сон рассматривается как состояние неоднородное с чередованием определенных фаз и циклов.

Новый подход к изучению сна, основанный на использовании биологических ритмов организма, раскрывает более широкие возможности для управления сном с целью устранения его нарушений. В этом направлении работают ученые всего мира. Уже теперь можно с уверенностью сказать, что управление сном имеет большие перспективы для создания наилучших условий жизнедеятельности организма.

С понятием «ритм» связано представление о гармонии, организованности явлений и процессов. В переводе с греческого слово «ритм», «ритмос» означает соразмерность, стройность. Ритмическими называются такие явления природы, которые периодически повторяются. Это – движение небесных тел, смена времен года, дня и ночи, периодичность приливов и отливов, чередование максимумов и минимумов солнечной активности.

Различные физические явления отличаются периодическим, волнообразным характером. К их числу можно отнести электромагнитные волны, звук и т. д. В химии примером служит изменение атомного веса элементов периодической системы Менделеева, отражающее последовательное чередование химических свойств материи.

Основные ритмы в природе, наложившие свой отпечаток на все живое на Земле, возникли под влиянием вращения Земли по отношению к Солнцу, Луне и звездам.

Каждый из этих факторов создает на Земле периоды. Первый период называется солнечными сутками, второй – лунными и третий – сидерическими, или звездными.

Солнечные сутки проявляются на Земле в виде чередования света и темноты; их продолжительность равна 24 часам. Лунные сутки отражаются на периодичности приливов и отливов. Их длительность соответствует 24,8 часа. У живых организмов всегда наблюдаются хорошо выраженные ритмы, которые соответствуют лунным и солнечным суткам. Однако эти ритмы взаимодействуют друг с другом, образуя новую периодичность, соответствующую синодическому месяцу продолжительностью 29,5 суток. Его минимум приходится на новолуние, а максимум – на полнолуние. Таким образом, синодический ритм строго согласован с фазами Луны.

Из всех ритмических воздействий, поступающих на Землю из космоса, наиболее сильным является воздействие ритмически изменяющегося излучения Солнца. На поверхности и в недрах нашего светила непрерывно идут процессы, проявляющиеся в виде солнечных вспышек. Мощные потоки энергии, выбрасываемые при вспышке, достигая Земли, резко меняют состояние магнитного поля и ионосферы, влияют на распространение радиоволн, сказываются на погоде. В результате возникающих на Солнце вспышек изменяется общая солнечная активность, имеющая периоды максимума и минимума. Многочисленные наблюдения показали, что максимумы солнечной активности повторяются в среднем через 11 лет (периоды максимумов могут изменяться в пределах от 7 до 16 лет). Таким образом, изменение солнечной активности имеет 11-летний период – это основной период солнечной деятельности. Для его определения ученые пользуются числом Вольфа – относительным числом солнечных пятен, меняющихся в пределах от 0 до 200.

Солнечные пятна можно наблюдать на поверхности Солнца в виде темных образований, возникающих вследствие частичного превращения тепловой энергии в энергию магнитного поля. Появление солнечных пятен указывает на то, что в месте их наблюдения возникла избыточная «геоактивная радиация». Эта радиация оказывает воздействие на земную атмосферу. Последствия воздействия солнечной радиации сказываются как на растительном, так и на животном мире.

Еще в 1801 г. знаменитый английский астроном В. Гершель подметил, что урожаи пшеницы на протяжении целого столетия периодически менялись в соответствии с циклами солнечной активности, регистрируемой по числу солнечных пятен. В 1886 г. английский исследователь Б. Мур сообщал, что солнечные пятна влияют «на состояние окружающей среды, способствуя развитию эпидемий». В 30-е гг. XX столетия выдающийся советский ученый, основоположник современной гелиобиологии А. Л. Чижевский писал, что максимальная солнечная активность оказывает влияние на самые различные явления органического мира. А. Л. Чижевский доказал, что солнечная активность обуславливает периодичность большинства биологических процессов на Земле. Когда на Солнце возникают пятна, на нашей планете вспыхивают эпидемии заболеваний, катастрофически быстро размножаются вредители сельского хозяйства, возникают неурожай и т. д. Для подтверждения своей гипотезы Чижевский использовал большой фактический материал за продолжительный период времени. Так, для проверки гипотезы о связи эпидемий с циклами солнечной активности ему пришлось ознакомиться с медицинской литературой, где говорилось об эпидемиях чумы за четырнадцать столетий.

Многочисленные исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, показали, что во время наибольшей активности Солнца возникает резкое ухудшение состояния больных, страдающих гипертонической болезнью, атеросклерозом и инфарктом миокарда. В этот период времени происходят нарушения функционального состояния центральной нервной системы, возникают спазмы кровеносных сосудов. В отличие от здоровых людей у больных атеросклерозом в ближайшие двое суток с момента возникновения

магнитных бурь на Солнце наблюдается повышение свертывающей активности крови. По данным работы скорой помощи в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, в дни повышенной активности Солнца число инфарктов миокарда и приступов стенокардии на 20 % больше, чем в дни спокойного Солнца. В результате статистической обработки многочисленных историй болезни из многих городов России было определено, что приток больных в больницы резко возрастает, когда солнечная активность увеличивается.

Французские ученые Г. Сардау и Г. Валло установили, что момент прохождения пятен через центральный меридиан Солнца в 84 % случаев совпадает с внезапными смертями, инфарктами, инсультами и другими осложнениями.

Представляют также интерес и наблюдения японского ученого Ш. Масамура. Он собрал и проанализировал случаи дорожных происшествий в десяти городах Японии с 1 по 15 июля 1966 г. Оказалось, что больше всего их пришлось на 7 июля, когда на Солнце было зарегистрировано максимальное количество пятен и солнечная активность достигла своей наибольшей величины.

Российский ученый В. П. Девятов подсчитал, что в первые же дни после появления пятен на Солнце количество автомобильных катастроф возрастало примерно в четыре раза по сравнению с периодами, когда пятен было немного. Эти данные согласуются с результатами исследований других ученых, показавших, что в период беспокойного Солнца реакция человека на любой внешний раздражитель значительно замедляется.

Увеличение числа несчастных случаев во время наибольшей солнечной активности происходит и на производстве. Было установлено, что количество несчастных случаев среди рабочих угольных шахт в основном увеличивается в дни повышенной активности Солнца.

Ритм изменения активности Солнца оказывает воздействие и на поведение душевнобольных. Так, американские ученые сопоставили сведения о поступлении больных в семь психиатрических клиник штата Нью-Йорк за четыре года и три месяца (было учтено около 30 тыс. случаев) с данными о солнечной активности. Оказалось, что число больных, поступавших в психиатрические клиники, резко увеличивалось в дни усиления солнечной активности.

С увеличением солнечной активности меняется магнитное поле Земли, и это сказывается на возбудимости нервной системы человека. «Приемным пунктом» магнитных возбуждений, как показали многочисленные исследования, является непосредственно мозг. В связи с этим можно объяснить такие эффекты солнечного влияния, как «сумасшествие» животных, их массовые миграции, инфаркты миокарда и психические заболевания у людей.

Вопрос о непосредственном воздействии магнитных волн на мозг человека решался путем изучения длины этих волн. Эксперименты, проведенные в 50-х годах XX столетия Г. Кенигом – ученым из ФРГ, показали, что энергия магнитных излучений Солнца лежит в диапазоне сверхнизких волн. В том же диапазоне волн находится и длина волн электромагнитных излучений мозга человека. Кениг пришел к мысли, что магнитное излучение Солнца взаимодействует с биотоками мозга, приводя к изменению общего функционального состояния человека. Отсюда вывод: вспышки на Солнце оказывают непосредственное воздействие на мозг. Убедиться в этом помог случай. На выставке дорожного движения, проходившей в 1953 г. в Мюнхене, Кенигу удалось на большом числе посетителей с помощью довольно простого теста проверить скорость реакции. В этот период были дни с наибольшей и наименьшей интенсивностью излучения Солнца. Как показал анализ результатов проверки, реакция у посетителей резко снижалась в дни с максимальной солнечной активностью.

Дальнейшие исследования ученых были направлены на более углубленное изучение механизма перестройки биотоков мозга и биоритмов всего организма человека под воздействием магнитного излучения Солнца. Было определено, что для изменения биотоков мозга на 1 Гц достаточно двух тысячных вольта. Такие слабые токи возникают при изменении магнитных полей, существующих в атмосфере. Они могут влиять на «часы» активности человеческого мозга, взаимодействуя с электрическими волнами мозга.

Именно это и показал в эксперименте ученый из ГДР Р. Вевер. Он помещал испытуемых в подземное помещение, состоявшее из двух изолированных комнат. В одну из комнат подавалось незначительное магнитное поле, интенсивность которого соответствовала магнитному полю в атмосфере, которое бывает в период максимальной активности Солнца. По истечении трёх дней эксперимента у ис-

пытуемых, находившихся под воздействием магнитного поля, суточный ритм замедлился на 1 час 27 минут; у других испытуемых, на которых магнитное поле не действовало, жизненный ритм не изменился.

Ритмические воздействия магнитных полей в природе могут проявляться не только в виде магнитных излучений Солнца, но и как излучения из космического пространства, например от далеких галактик Вселенной. Излучения, приходящие из космоса, способны изменить ритм человеческой активности, но среди них излучение Солнца оказывает наибольшее влияние на человека. Действие его на человека усиливается еще и тем, что с изменениями солнечной активности меняется магнитное поле Земли.

Солнечная активность и магнитное поле Земли влияют на физическое развитие человека. На первый взгляд это может показаться несколько необычным и таинственным. Однако этому дается научное объяснение.

Недавно ученый П. В. Василик сделал интересное открытие. Он обнаружил, что между магнитным полем Земли (оно связано с колебаниями активности Солнца) и ростом человека существует обратная зависимость. С уменьшением магнитного поля Земли ускоряется рост, происходит акселерация. С увеличением магнитного поля Земли возникает обратный процесс – замедление роста – ретардация. Длительность периода изменения магнитного поля Земли достаточно велика и исчисляется десятками столетий.

Археологические раскопки показали, что с середины V тыс. до н. э. до середины IV тыс. до н. э. был период акселерации, что соответствовало уменьшению магнитного поля Земли. С середины IV тыс. до н. э. и до первых веков н. э. наблюдается уменьшение роста человека. Этот период совпал с постепенным увеличением магнитного поля Земли. С I в. н. э. до настоящего времени идет процесс акселерации, соответствующий уменьшению магнитного поля Земли.

Большой интерес представляют исследования влияния солнечной активности на умственные способности людей. Еще несколько лет назад такая постановка вопроса могла показаться антинаучной. Однако исследования последних лет показали, что излучение Солнца оказывает влияние на творческую активность людей. Это подтверждают исследования, проведенные ученым В. А. Ивановым. Он проанализировал ритм работы 120 поэтов, писателей и композиторов, ста-

статистически обработал полученные результаты и пришел к выводу, что в их творчестве наблюдаются подъемы и спады. Особый интерес представляет тот факт, что подъем творческой активности приходится в основном на максимумы солнечной активности.

Аналогичные исследования провел В. Г. Логинов. Проанализировав ритм творчества великих поэтов и писателей, он подтвердил, что наибольший подъем в их творчестве совпадал с периодами наибольшего излучения Солнца.

Весьма интересные исследования влияния ритмов солнечной активности на рождаемость великих людей провели ученые Б. В. Максимов и В. Н. Завадич. Они статистически обработали данные, взятые из энциклопедии, даты рождения всех известных людей за последние 400 лет, и обнаружили вполне определенную периодичность всплесков кривой рождения великих людей. За 400 лет выявилось 18 подъемов кривой, периодичность следования которых составила в среднем 22,7 года. Такой период совпадал с возникновением максимальной солнечной активности для 11-летнего цикла.

Наряду с 11-летним имеются и другие циклы солнечной активности. Основным является короткий 27-суточный цикл. Он связан с обращением Солнца вокруг своей оси. От 27-суточного цикла зависит число магнитных бурь в околоземном пространстве на протяжении суток. Интенсивность солнечной активности может иметь также и полугодовые вариации. Так, например, наибольшее число магнитных бурь наблюдается в марте-апреле и сентябре-октябре.

Обнаружен также 22-летний цикл изменения магнитной полярности пятен Солнца, а также 80 – 90-летний цикл, называемый вековым циклом. Солнечная активность имеет и еще более длительные циклы: 600 – 800-летние колебания.

Возникает вопрос: взаимосвязаны ли между собой циклы солнечной активности или же независимы? Советский ученый М. С. Эйгенсон высказал предположение о взаимосвязи циклов солнечной активности. Он считает, что любой цикл высшего порядка можно представить как сумму циклов более низкого порядка. Так, например, вековой цикл состоит из нескольких 11-летних циклов, 600 – 800-летний – из нескольких вековых и т. д. Здесь речь идет о гармониках физического режима Солнца, которые не всегда могут наблюдаться на его поверхности, но они обнаруживаются по геофизическим эффектам.

В качестве примера можно привести полярные сияния, возникающие в результате проникновения солнечных корпускул в атмосферу Земли. Корпускулярные излучения Солнца не видны на его поверхности, но обнаружить эти излучения можно по процессам, которые возникают на Земле при воздействии корпускул Солнца на атмосферу (например, по магнитным бурям, приводящим к нарушению радиосвязи).

Периодичность изменения солнечной активности в значительной степени влияет на климат нашей планеты. Известный американский метеоролог К. Уиллет на основании изучения цикла солнечных пятен утверждает, что на земном шаре произойдет повышение температуры в период с 2000 по 2030 гг. Это относится прежде всего к Канаде и Северной Европе. Африка и Азия переживут 10-летний период засушливой погоды. В последующие годы температура значительно снизится, а с 2110 по 2140 гг. (во время пика 720-летнего цикла солнечной активности) наступит небольшой «ледниковый период».

Жизнь на нашей планете связана с вращением Земли вокруг своей оси, определяющим суточный ритм, и с вращением вокруг Солнца, от которого на Земле зависит смена времен года. Большинство живых организмов сезонный ритм воспринимается как смена времен года. Он определяет рост, развитие и гибель растений. Вращение Земли вокруг своей оси обуславливает ритмичное изменение факторов внешней среды: температуры, освещенности, относительной влажности воздуха, барометрического давления, электрического потенциала атмосферы, космической радиации и гравитации.

Все перечисленные факторы внешней среды оказывают влияние на жизненные процессы живых организмов. Среди них особое значение имеет чередование света и темноты. От суточного ритма зависит обмен веществ в растениях – поглощение углекислоты днем и отдача кислорода ночью. У животных суточные ритмы проявляются в виде чередования периодов бодрствования и активности с периодами сна и покоя.

Все живое на Земле развивалось под влиянием суточных или сезонных ритмов. Но всегда ли они имели такую продолжительность, как теперь?

Многие ученые считают, что миллионы лет назад Земля вращалась быстрее и сутки были короче. Причиной замедления вращения Земли стало трение вещества в приливных волнах океанов и в твердом теле Земли. В свое время приливные силы прекратили вращение Луны, более легкой, чем Земля.

Под действием циклической деятельности Солнца и вращения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца возникла периодичность явлений, происходящих в природе. Она проявляется и в смене погоды, и в извержении вулканов, и в землетрясениях, и в наводнениях и т. д. Эта периодичность создала тот ритм в живых организмах, который составляет сущность их жизни.

1.1.2. Биологические ритмы и их классификация

Многие биологические ритмы поддаются систематизации. Как уже указывалось, по длительности некоторые из них могут совпадать с соответствующими геофизическими циклами. К таким «адаптивным» ритмам относятся суточные, сезонные, годовые, лунные, приливо-отливные изменения жизнедеятельности в организмах. Благодаря им наибольшая активность и усиленный обмен веществ в организме совпадают с наиболее благоприятными для этого внешними условиями и временем суток, месяца, года.

Функциональные ритмы, обеспечивающие непрерывную жизнедеятельность организма, как правило, имеют короткие циклы – от долей секунды до минут. К их числу относятся, например, циклы нервно-мышечного возбуждения и торможения, а также множество других процессов на уровнях молекул, клеток, отдельных органов.

Иногда функциональные ритмы сочетаются с суточными ритмами. Так, например, в сердце, кишечнике и других органах животных амплитуда ритмов меняется в течение суток.

По степени зависимости от внешних условий биологические ритмы подразделяются на экзогенные и эндогенные. Экзогенные ритмы полностью зависят от изменения внешней среды. Это биохимические процессы. Эндогенные ритмы протекают при постоянных оптимальных условиях внешней среды и имеют широкий диапазон частот: от двух тысяч циклов в секунду до одного цикла в год. К эн-

догенным относятся ритмы сердцебиения, пульса, дыхания, кровяного давления, умственной активности, изменения глубины сна и др.

Существуют ритмы промежуточного характера. К ним можно отнести, например, серию постепенно затухающих мышечных сокращений, возникающих в результате одиночного внешнего раздражения.

Отличить эндогенные ритмы от экзогенных можно экспериментальным путем. Для этого проводят опыты при постоянных условиях внешней среды – температуре, освещении, влажности, атмосферном давлении и т. д. Важно отметить, что основным признаком эндогенных ритмов состоит в том, что их периодичность близка к суточной, но несколько от нее отличается.

Опыты по выявлению эндогенных ритмов проводились как на растениях, так и на животных (в том числе на человеке). Впервые эндогенные ритмы на растениях наблюдал более 200 лет назад французский астроном де Мэран (1722). Примечательно то, что суточная периодичность движения листьев у растений была открыта не биологом, а астрономом. Изучая вращение Земли, он сделал открытие о приспособлении живых организмов к вращению Земли. В дальнейшем эти наблюдения де Мэрана подтвердили многие биологи. Были выяснены и причины суточной периодичности ряда физиологических процессов. Но все же началом науки о биологических ритмах – биоритмологии – принято считать открытие де Мэрана. За два столетия биоритмология сделала большие успехи.

Работы по изучению биологических ритмов проводились по трем направлениям. Прежде всего изучались процессы и закономерности их проявления. Затем исследовалось расположение ведущих систем и органов, обуславливающих проявление ритмичности процессов в организме. Когда закономерности проявлений и локализация ритмических процессов в организме были изучены, начались исследования природы, физической и химической сущности механизма биоритмов.

В настоящее время первый этап изучения биологических ритмов завершен. Существование эндогенных биологических ритмов (их принято называть биологическими часами) вполне установлено. Ряд удивительных явлений в природе можно теперь объяснить способностью организма чувствовать время.

1.2. Биологические часы и их проявление в живой природе

1.2.1. Биологические часы

Жизнь во всех ее проявлениях на Земле многогранна и разнообразна. Это и жизнь одноклеточного организма, и жизнь такого высокоразвитого существа, как человек. Однако несмотря на резкие различия по форме проявления, она едина по своей сущности. Жизнь – это непрерывный химический процесс образования и разрушения органических веществ в клетках, осуществляемый благодаря обмену веществ между организмом и внешней средой. Поэтому без внешней среды живой организм существовать не может. Великий русский физиолог И. М. Сеченов писал, что организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен. Поэтому в научное определение организма должна входить и среда, влияющая на него.

В понятие внешней среды входит все, что окружает живые организмы, оказывает влияние на их состояние, жизнедеятельность, развитие и гибель. Внешняя среда может иметь различный химический состав и разнообразное физическое состояние: температуру, влажность, атмосферное давление и т. д. Взаимодействуя с окружающей средой, живой организм получает необходимые для своего существования вещества, отдавая ей продукты обмена.

Внешняя среда оказывает постоянное воздействие на живой организм, поэтому далеко не безразлична интенсивность этого воздействия. Существуют максимальные и минимальные границы, за пределами которых в живом организме могут возникнуть функциональные нарушения, иногда приводящие к гибели. В пределах этих границ имеются оптимальные условия. В качестве примера можно привести температурное воздействие на организм. Высокая или слишком низкая температура окружающей среды губительна для живого организма. Для человека, например, наиболее благоприятна температура в пределах от 18 до 22 °С. Даже небольшой перегрев или охлаждение (на 5 – 10 °С) будут отрицательно сказываться на общем состоянии.

Физиологические процессы в живых организмах тесно связаны с факторами среды. Первостепенную роль играют свет, температура, атмосферное давление и содержание кислорода в воздухе. Главный среди них – свет. Он определяет периоды активности животных и растений, ритмичность их жизнедеятельности.

Повторяемость процессов – один из признаков жизни. При этом важное значение имеет способность живых организмов чувствовать время. С ее помощью устанавливаются суточные, сезонные, годовые, лунные и приливно-отливные ритмы физиологических процессов. Как показали исследования, почти все жизненные процессы в живом организме ритмичны.

Ритмы физиологических процессов в организме, как и любые другие повторяющиеся явления, имеют волнообразный характер. Расстояние между одинаковыми положениями двух колебаний называется периодом, или циклом. Каждый цикл обычно состоит из двух фаз: в одной из них процесс достигает максимума, в другой – минимума. Амплитуда определяет максимальное и минимальное отклонения от среднего значения. В одной из фаз цикла имеется спад волны колебаний, что соответствует ослаблению процесса, в другой – подъем волны, что сопровождается его усилением.

По длительности циклов биологические процессы, как правило, в какой-то степени совпадают с геофизическими циклами. Так, например, многие физиологические функции в организмах обусловлены суточной цикличностью внешних факторов среды, непосредственно связанных с суточной периодичностью вращения Земли.

Исследования показали, что внутренние суточные ритмы растений и животных не точно соответствуют 24-часовой периодичности земных суток. Они немного отличаются в большую или меньшую сторону (чаще в меньшую). Так, для растений они лежат в пределах 23 – 28 часов, для животных 23 – 25 часов. Такие внутренние суточные ритмы живых организмов называются циркадными (в переводе с латинского «цирка» означает около, «диес» – день, сутки).

Благодаря биологическим ритмам живой организм гораздо легче приспосабливается к условиям внешней среды, которые регулируют длительность циклов и отдельных их фаз. Такое действие внешних условий на живой организм принято называть синхронизирующим, а сами факторы воздействия – синхронизаторами. К их числу относятся свет, шум, запахи, время кормления и т. д. В дальнейшем будет показано, что синхронизация биологических ритмов с геофизическими ритмами природы имеет большое приспособительное значение.

1.2.2. Проявление биологических ритмов в природе

Как показали многочисленные исследования различных ученых, растения и животные содержат в себе некий часовой механизм измерения времени – так называемые биологические часы. В чем проявляется действие этих часов, как они показывают время?

С древнейших времен человек наблюдал за периодическими изменениями у окружающих его живых организмов. Со времен Аристотеля (IV в. до н. э.) и до наших дней у исследователей не ослабевает интерес к удивительному и загадочному чувству времени. Некоторые факты, отмеченные исследователями, настолько поразительны и необычайны, что заставляют серьезно задуматься о природе их происхождения.

Изучение перелетов птиц позволило сделать важный вывод: многие птицы ежегодно совершают перелеты за сотни и тысячи километров по определенному маршруту. Если птицы сбиваются с пути или их специально удаляют от перелетных путей, то они все же самостоятельно находят дорогу к тем местам, через которые проходит их перелет в дальние края, и продолжают перелет по своему обычному маршруту.

Немецкий ученый из ФРГ Г. Крёмер в 1945 г. начал экспериментальное изучение способов ориентации птиц. Он обнаружил, что днем птицы ориентируются, сопоставляя положение Солнца со временем, которое показывают их биологические часы. Как доказали исследования, для такой ориентации по Солнцу точность хода их внутренних часов очень высока. Ошибка не превышает одной минуты.

Наблюдения Крёмера показали, что многие птицы (особенно мелкие) совершают ночные перелеты. Днем они вынуждены пополнять запасы энергии, израсходованные во время полета. Птицы совершают перелет в ночное время еще и потому, что ночью меньше отвлекающих факторов и им легче преодолевать большие расстояния.

Исследования дневных и ночных перелетов птиц Крёмер проводил несколько необычным и оригинальным методом. Он помещал исследуемых птиц в круглую клетку со стеклянным верхом так, чтобы птицы могли видеть лишь участок неба, находящийся под углом зрения примерно 70°. Прозрачный пол клетки позволял наблюдателю следить за птицей.

Важным условием в опытах Кремера было то, с какой стороны попадал свет в клетку. Оказалось, что направление полета птица определяла по Солнцу. Она знала, что для того, чтобы найти Восток утром, надо двигаться по направлению к Солнцу, а в конце дня так, чтобы оно оставалось непосредственно сзади.

В одном из своих экспериментов Кремер «остановил» Солнце, поместив источник света в течение всего дня с одной стороны клетки. И что же произошло? Птица «перепутала» все стороны света, приняв Восток за Запад в шесть часов утра и Север за Запад в полдень.

Аналогичные опыты проводились в условиях искусственного ночного неба. В этих экспериментах было наглядно показано, что птицы во время перелетов хорошо ориентируются по звездам. Когда птице в планетарии показали весеннее небо, она повернулась на северо-восток, как это бывает в естественных условиях; под осенним небом – на юго-запад.

Изменяя положение звезд на небосводе планетария, в котором была установлена клетка, можно было создавать у птицы впечатление ее постепенного перемещения на юг. Таким образом, птица, никогда не покидавшая своей клетки и ни разу не летавшая на юг, определяла направление перелета в южные страны.

Понять, как птица определяет широту своего местоположения, вполне возможно. Она, подобно штурману, определяет высоту над горизонтом и направление на какую-то определенную звезду. Что же касается долготы, то ее штурман обычно находит путем сравнения местного времени, которое может быть определено, например, по восходу или заходу Солнца, с показаниями точных часов – хронометра, идущего по гринвичскому времени. Надо полагать, что и у птицы есть точные внутренние часы, которые в отличие от хронометра штурмана показывают местное время того пункта, где она находится.

Для подкрепления этой гипотезы немецкий ученый из ФРГ Ф. Зауэр провел эксперименты, в которых картина ночного неба менялась в соответствии с изменяемой долготой. Реагируя на изменение долготы, птицы определяли направление полета иначе, чем они это делали при изменении широты.

Не менее удивительно и загадочно поведение пчел. Свои наблюдения о ритмических танцах пчел, их особом тонком чувстве времени впервые опубликовал немецкий ученый К. Фриш еще в 1926 г. Он сде-

лал важное открытие: танцы пчел позволяют им общаться между собой, являются их языком. Аналогичным образом общаются и муравьи.

Впоследствии известный математик К. Шеннон (основоположник теории информации) высказал предположение о принципиальной возможности установления контактов с обитателями других миров путем применения межпланетного кода, в основе построения которого должен быть использован принцип языка пчелиных танцев и способы общения муравьев.

Ритмические танцы пчел позволяют им сообщать друг другу о приближающейся опасности, указывать направление и расстояние до найденного источника корма. Чем медленнее исполняемый танец, тем дальше находится корм. Примечательно, что расстояние преуменьшалось при попутном ветре и преувеличивалось – при встречном. По-видимому, при определении расстояния пчелы учитывают мышечную работу.

В своих сообщениях путем танца пчелы передают основную характеристику корма, точное его местоположение по отношению к Солнцу и расстояние. Нет сомнений, что такую информацию пчелы могут передавать, лишь имея внутренние биологические часы. Интересно отметить, что расположение Солнца в зените сбивает ориентировку пчел во времени и пространстве. Такой случай можно наблюдать лишь на экваторе, где Солнце бывает в зените. Не имея ориентировки во времени и пространстве, пчела в такой ситуации оставалась на месте.

Пчелы обладают довольно высоко развитым чувством времени. По наблюдению многих исследователей, они в определенное время вылетают на поиски пищи и возвращаются в улей. Безусловно, без внутренних биологических часов они этого сделать не смогли бы.

Биологические часы есть и у растений. Их действие проявляется в периодических движениях листьев вслед за перемещением Солнца, во времени цветения и плодоношения, раскрывания и закрывания цветов, уровне фотосинтеза и т. д.

У растений наиболее интересна суточная периодичность раскрывания цветов в утренние часы и закрывания в вечерние. Каждое растение «просыпается» в свое время. На рассвете открывает свои лепестки козлобородник. В четыре часа утра расправляет голубые цветки цикорий, а час спустя – мак, к шести часам расцветают

одуванчик, полевая гвоздика, к семи часам – белая кувшинка, колокольчики, кульбаба копьелистная, огородный картофель и ястребинка зонтичная, в восемь часов утра вспыхивают яркие ноготки, бархатцы, вьюнки, к десяти часам – нежная кислица, и только к 11 часам раскрываются цветки торицы.

Соблюдая строгую и точную очередность, растения также и «засыпают» в определенное время. В полдень начинает закрывать лепестки осот полевой, около двух часов дня – картофель и одуванчик, в три часа исчезают цветущие венчики кульбабы копьелистной и мака, между тремя и четырьмя часами – торицы, к четырем часам складывают оранжевые лепестки ноготки, а в пять часов – ястребинка зонтичная. В последующий час белая кувшинка смыкает свой венчик и уходит под воду. В это же время «засыпают» кислица и лютики, наконец, самыми последними, около восьми часов вечера, закрываются цветки шиповника.

Существуют «ночные» цветы, раскрывающие лепестки ночью. Ровно в восемь часов вечера раскрывает свои яркие желтые лепестки энотера. Примерно в это же время распускаются цветы душистого табака, а после девяти часов – цветы горичвета.

Учитывая такую интересную особенность пробуждения и засыпания различных растений, на садовой клумбе можно устроить живые часы. Для этого на клумбе высаживают цветы в таком порядке, в каком они раскрываются и закрываются. По этим живым часам можно довольно точно определить время суток.

Интересно понаблюдать за тем, когда начинают пробуждаться и петь различные птицы. Начало ночи возвещают петухи, они поют первый раз в полночь, второй раз – до зари, около двух часов ночи. В это же время пробуждаются соловей и жаворонок. В третьем часу ночи оживляются перепела, полевые жаворонки, затем – кукушка, иволга крапивник. Придерживаясь своего внутреннего расписания, в четыре часа с гнезд слетают скворцы, трясогузки, зеленушки, к шести часам утра просыпаются воробьи.

Биологические часы определяют суточную периодичность жизнедеятельности у многих животных. Она наиболее выражена в смене фаз двигательной активности и относительного покоя.

Период активности в суточном ритме включает в основном короткие движения (бег, перелеты, порхание и т. д.) и более длительный

относительный покой. Так, например, у некоторых хищников (щук, пауков, кошачьих) развилась способность к «оперативному покою», в котором они находятся, подкарауливая свою жертву. В состоянии покоя животные обычно находятся без движений, однако некоторые из них ненадолго пробуждаются (обезьяны гамадрилы просыпаются ночью на 30 минут через каждые 2 – 3 часа).

Активность животных может приходиться на различное время суток (на дневное, ночное и сумерки). Среди животных и птиц, активных в дневное время, наиболее типичные представители – куры, домашние свиньи, а также многие виды ящериц. На дневные часы у них приходится 80 – 90 % двигательной активности. Наиболее характерные представители животного мира, у которых преобладает активность в ночное время, – летучие мыши, совы, черные хорьки, травяные лягушки, некоторые виды змей. Приблизительно одинаковую активность в дневное и ночное время имеют степной хорек, некоторые виды полевок, степная пеструшка, стерлядь, балтийский лосось.

При однократном чередовании фаз активности и покоя ритм называют монофазным, при многократном – полифазным. Как известно, человек спит один раз в сутки – ночью. Он имеет монофазный ритм чередования активности и покоя. Полифазный ритм наблюдается у домашней свиньи. У нее 14 фаз сна за сутки.

Количество фаз активности и покоя у многих животных в зависимости от индивидуального развития и времен года может изменяться, при этом возможно смещение их положения в течение суток. Так, например, полевки в летнее время активны ночью, а в зимнее – днем. Весной и осенью у них на протяжении суток происходит чередование нескольких фаз активности и покоя. С наступлением зимы снижается активность в дневное время у желтогорлой мыши.

При соблюдении постоянства внешней среды (освещенности, температуры, влажности и т. д.) время наибольшей активности и покоя остается неизменным на протяжении длительного периода. Это обстоятельство впервые отметил в 1914 г. польский исследователь И. Шиманский. Он обратил внимание на то, что суточные ритмы активности сохраняются в условиях постоянной темноты и температуры. В связи с этим ученый высказал предположение о существовании у животных врожденной способности к измерению времени.

При наступлении летнего времени за Северным полярным кругом у лесных птиц сохраняется четкий суточный ритм, несмотря на круглосуточный день. Летом на севере активность птиц достигает минимума в 22 – 23 часа и максимума – в 14 – 15 часов. Птицы, обитающие летом на севере, несмотря на непрерывное солнечное освещение, имеют ночной сон. Этот же ритм у них сохраняется и в обычные дни.

Многие птицы ведут дневной образ жизни. Днем они добывают корм, а когда приближается вечер – устраиваются на ночлег. Интересно, что для одной и той же разновидности птиц это время строго определено. Так, например, скворцы заканчивают поиски корма за час до захода Солнца. В течение получаса они собираются группами по несколько десятков птиц, а затем улетают на ночевку за 13 км. После прилета на новое место они в течение часа успокаиваются, а уже на рассвете вылетают вновь.

У плодовых мух дрозофил, как и у многих других насекомых, вылет из куколок происходит на рассвете. Действие биологических часов отмечено у насекомых. У сверчков, например, максимум суточной двигательной активности приходится на 15 часов. Личинки поденки проявляют наибольшую активность в период с 19 до 7 часов. Этот ритм у них не исчезает в течение четырех месяцев в условиях ускоренного или круглосуточного освещения.

Биологические часы обнаружены почти у всех живых организмов, начиная с одноклеточных и кончая самыми высокоорганизованными – животными и человеком. Однако у человека действие биологических часов зависит от многих факторов, и их экспериментальное изучение более сложное и трудоемкое. В связи с этим процессы, свидетельствующие о существовании биологических часов, сначала изучаются на животных, а затем на человеке.

По этому поводу один из крупнейших ученых в области изучения биологических часов, американский биолог Ю. Ашофф, отмечал, что в организме человека нет ни одного органа и ни одной функции, которые не обнаруживали бы суточной ритмичности. Изменяется ли число делящихся клеток в той или иной ткани, объем выделяемой мочи, реакция на лекарство или точность и скорость решения арифметических задач – человек обычно обнаруживает, что максимальное значение соответствует одному времени суток, а минимальное – другому.

Установлено, что в организме человека имеется свыше 100 биологических ритмов, отражающих различные физиологические процессы. Это суточные ритмы сна и бодрствования, изменения температуры тела, работы сердечно-сосудистой системы, состава крови и т. д.

Изучение биологических ритмов организма человека – сложная задача, так как для этого необходимо полностью исключить влияние всех внешних факторов (особенно шумов), мешающих ходу внутренних часов человека. Необходимо также располагать совершенными методами исследований и современной аппаратурой для регистрации изменений температуры тела, сердечно-сосудистой системы, циклов сна и бодрствования и т. д. Первоначальные исследования были несовершенны и достаточно примитивны. Несмотря на это они позволили выявить ход внутренних биологических часов человека при различных физиологических функциях. Так, например, изучение цикла «сон – бодрствование» исследователи проводили в пещерах. Первые эксперименты они выполнили на себе. Находясь в изоляции от внешнего мира, в полной темноте и тишине, они наблюдали за суточными изменениями различных физиологических функций. Первоочередной задачей ученых было изучение природы внутренних часов человека.

Известно, что человек обладает хорошо развитым чувством времени. Он может утром проснуться в определенное время, твердо решив это сделать еще с вечера. Все это мы неоднократно испытали на себе. Биологические часы напоминают о времени сна и о наступлении часа обеда, дают о себе знать в момент подъема и спада работоспособности в различное время суток.

Для подтверждения существования внутренних биологических часов у человека был проведен ряд научных экспериментов. Одним из первых такие научные эксперименты выполнил Ашофф.

Сущность экспериментов состояла в том, что испытуемые (студенты) находились в помещении, изолированном от окружающего мира. Им были предоставлены удобная комната, совмещающая гостиную и спальню, душевая и маленькая кухня для приготовления еды. Испытуемые вели нормальный образ жизни, с обычным для них распорядком дня. Все отличие от привычной жизни заключалось в незнании времени суток.

Испытуемые находились в полной изоляции от внешнего мира на протяжении трех-четырёх недель. Они вели нормальную «размеренную»

жизнь: три раза в день ели, занимались, читали, готовили себе еду, прослушивали музыкальные записи, ложились спать тогда, когда по их чувству времени должна была наступать ночь. В изолированное помещение не проникали ни звук, ни свет, поэтому испытуемые не могли узнать время суток.

За испытуемыми велись различные физиологические наблюдения: непрерывно регистрировалась температура тела, записывался характер активности движения во время сна и т. д. Испытуемые проводили психологические опыты. Каждый участник эксперимента проверял чувство времени, пытаясь определить промежутки времени в 20 секунд, 1 час и т. д. Свет он гасил сам, когда ложился спать, и зажигал его, когда просыпался и вставал. Однако интенсивность освещения регулировалась извне, с тем чтобы определить, каким образом она влияет на внутренние биологические часы испытуемого. Температуру же внутри помещения каждый испытуемый регулировал сам, так как её изменение в небольших пределах не должно было сказаться на результатах эксперимента.

Регистрация физиологических функций и состояния испытуемого во время эксперимента позволила выявить у него четко выраженные циркадные (суточные) ритмы: сна и бодрствования, изменения температуры тела, выделения мочи (по объему и содержанию кальция и калия). Эти ритмы не всегда совпадали по фазе, но в среднем длительность периода составляла не 24 часа, а 25. Таким образом, внутренние часы человека отставали на 1 час в сутки.

Наблюдения показали, что на ход внутренних часов человека оказывала влияние интенсивность освещения. При очень сильном освещении (1500 лк) суточный ритм испытуемого уменьшался до 19 часов, при слабом – наоборот, увеличивался и составлял 25,6 часа. Таким образом, в экспериментах по наблюдению за длительностью суточной периодичности функций человека установлено, что их течение ускоряется при яркой освещенности и уменьшается при слабой. При ярком солнечном свете человек более работоспособен, поэтому сутки внутренних часов его значительно укорачиваются.

Устойчивость суточного ритма человека при постоянной внешней среде подтвердил французский спелеолог М. Сиффре. Он установил своеобразный рекорд пребывания под землей, проведя в пещере в полном одиночестве и темноте 205 дней.

В этих экспериментах было обнаружено интересное явление: испытуемый начинал лучше себя чувствовать в тот момент, когда его физиологические функции совпадали по фазе. Происходила синхронизация биологических ритмов человека. При их несовпадении его состояние ухудшалось. Именно такое состояние человека, когда нарушается синхронность функций в организме, можно наблюдать при трансконтинентальных перелетах летчиков и пассажиров в восточном или западном направлении. Во время таких перелетов и позже в течение некоторого промежутка времени у летчиков и пассажиров отмечается ухудшение общего самочувствия: усталость, сильное недомогание, появляется желание спать днем и бодрствовать ночью. Наиболее выражено недомогание при перелете с запада на восток. Это происходит потому, что при перелете через многие меридианы нарушается соответствие внутренних биологических часов организма человека с местным временем, чего не бывает при перелете на юг в пределах одного часового пояса. Перелеты с севера на юг и обратно при тех же скоростях самолета воздействия на организм не оказывают и не вызывают в нем каких-либо изменений.

Нарушение синхронности физиологических функций при трансконтинентальных перелетах, получившее название десинхроноза, изучается медициной. При десинхронозе организм в новых условиях некоторое время продолжает функционировать по-старому, а затем постепенно начинает привыкать к новому распорядку дня. Происходит синхронизация биологического времени с местным, астрономическим. Оно длится обычно от двух дней до двух недель. Таким образом, спортсмены и артисты, перелетевшие из западного полушария в восточное, должны выждать две недели, пока не наступит синхронизация биологических ритмов с местным временем. Период, необходимый для привыкания к местному времени, неблагоприятен для выступлений.

Десинхроноз после дальних перелетов учитывается при проведении международных совещаний, где должны решаться важные вопросы. На таких совещаниях американские ученые рекомендуют принимать решения в первые дни после полета: для тех, кто летел в восточном направлении – в утренние часы, а для летевших в западном направлении – вечером.

Однако есть и другой путь. Организм человека может быть подготовлен к новому местному времени до либо после полета. Приспособление к новым условиям после полета, по предложению Ашоффа, можно производить путем использования искусственных указателей времени. С этой целью пассажиров сразу же после полета следует подвергать воздействию укороченных периодов света и темноты. Однако такие способы уменьшения десинхроноза находятся в стадии изучения.

Надо полагать, что ослабить десинхроноз можно и с помощью других, более современных научных методов, например, путем ритмического воздействия световыми, звуковыми, тепловыми или электромагнитными сигналами по специально подобранной программе их изменения в процессе воздействия.

Десинхроноз может возникнуть и при космических полетах, поэтому меры борьбы с ним имеют большое значение в космонавтике. При подготовке к космическим полетам в настоящее время используются более современные методы изучения внутренних часов организма человека по сравнению с теми, которые использовал Ашофф.

Эксперименты по изучению внутренних ритмов организма, впервые проведенные Ашоффом, показали динамику взаимодействия физиологических ритмов организма в суточном цикле.

Работоспособность, температура тела, частота пульса и дыхания, давление крови минимальны с 1 до 4 часов (1), максимальны с 9 до 14 часов (5) и с 16 до 20 часов (3); физиологическая активность минимальна с 2 до 5 часов (2), максимальна с 12 до 19,5 часа (4); содержание адреналина в крови максимально в 9 часов (6).

В этом плане интересно проследить, как изменяется интенсивность различных физиологических функций в организме человека в зависимости от времени суток.

Проблема суточных периодических изменений физиологических функций в организме человека с давних пор привлекает внимание ученых различных специальностей и прежде всего физиологов, врачей, биологов. Знание динамики изменения физиологических функций организма человека позволяет правильно понять состояние организма в определенный момент времени и применить более целесообразный и эффективный метод лечения при заболевании. Суточный ритм организма человека определяется различными физиологически-

ми функциями (а их, как мы знаем, в настоящее время насчитывается более сотни). Физиологические функции постоянно изменяются на фоне бодрствования и сна, активной деятельности и покоя. Интенсивность их проявления различна в разное время суток (рис. 1.1). В одно время она максимальна, в другое – имеет минимальное значение.

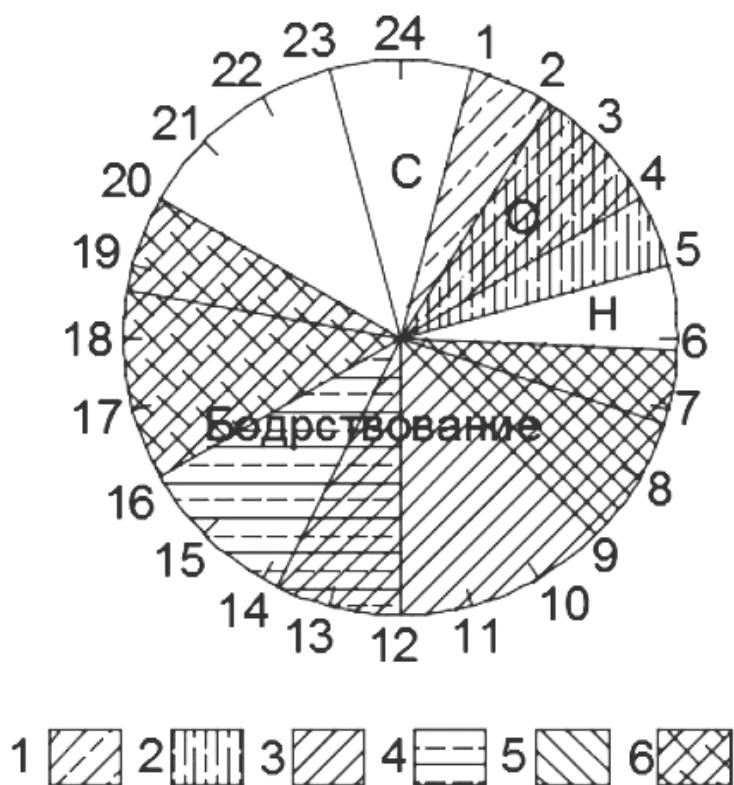


Рис. 1.1. Диаграмма распределения некоторых физиологических функций в суточном цикле

Почти все функции организма связаны с расходом энергии. В связи с этим физиологический ритм организма отражает уровень обмена веществ. Суточный ритм интенсивности обмена веществ, определяемый по характеру изменения температуры тела и дыхания, может быть обнаружен у людей, находящихся длительное время в покое или при малоподвижном образе жизни.

Еще в 1889 г. французский ученый Р. Рише дал физиологическое истолкование биологических ритмов. По его мнению, основной причиной суточных колебаний физиологических функций в организме человека являются периодические изменения возбудимости нервной системы, угнетающей или стимулирующей обмен веществ. В

результате изменения обмена веществ и возникают изменения различных физиологических функций.

Как показали экспериментальные исследования, для суточной периодичности физиологических процессов характерно постепенное повышение интенсивности в дневное время и уменьшение ночью (см. рис. 1.1). Так, например, частота дыхания днем выше, чем ночью. В ночное время понижена функция пищеварительного аппарата.

Экспериментально установлено, что суточная динамика температуры тела имеет волнообразный характер. Примерно к 18 часам температура достигает максимума, а к полуночи снижается минимальное ее значение между часом ночи и пятью часами утра. Таким образом, температура тела днем и ночью отличается на 0,6 – 1,3 °С. Интересно, что интенсивность физиологических процессов ночью меняется по сравнению с дневным временем независимо от того, спит человек в ночное время или занимается напряженной работой.

Работоспособность органов кровообращения в различное время суток тоже неодинакова: два раза в сутки (в 13 часов и 21 час) она резко снижается. Принимая во внимание то обстоятельство, что работоспособность сердечной мышцы в определенное время суток уменьшается, нецелесообразно в эти часы подвергать человека большим физическим нагрузкам, действию высоких температур, ускорений, кислородной недостаточности и т. д.

Суточная периодичность работы сердца проявляется в изменении числа сердечных сокращений в различное время суток. Так, во время сна сердце бьется медленнее, уменьшается его минутный объем, понижается давление артериальной и венозной крови. Наибольшее число сердечных сокращений приходится на 18 часов. В это же время наблюдаются более высокие показатели максимального и минимального кровяного давления. Примерно к четырем часам утра отмечена наименьшая частота пульса. К девяти часами утра снижается до минимума кровяное давление. Капилляры кровеносных сосудов максимально расширены в 18 часов и наиболее сужены к двум часам ночи.

Происходит изменение и внутриглазного давления. Утром оно повышается, а к вечеру падает.

Суточную периодичность работы сердца можно зафиксировать на электрокардиограмме, так как биоэлектрическая активность изменяется на протяжении суток. В случае повреждения миокарда (осо-

бенно при инфаркте) суточная периодичность работы сердца становится малозаметной или же полностью исчезает.

Кровь вместе с лимфой и тканевой жидкостью, окружающей клетки, является внутренней средой организма. Она достаточно полно отражает многие физиологические процессы, происходящие в организме человека. Поэтому наблюдать суточную периодичность физиологических функций можно, изучая деятельность кровеносных органов и состав крови.

Костный мозг наиболее активен ранним утром (в четыре – пять часов), а селезенка и лимфатические узлы – в 17 – 20 часов. В утреннее время в кровотоке поступает наибольшее число молодых эритроцитов. Самое высокое содержание гемоглобина в крови можно наблюдать от 16 до 18 часов. Максимальное количество сахара в крови приходится на девять – десять часов утра, а минимальное – на ночное время. Отмечен четко выраженный суточный ритм процентного содержания в крови форменных элементов – эозинофилов.

В ночное время содержание хлора в крови снижается, а в полночь достигает минимума. Уже с вечера в крови начинает уменьшаться количество белков и увеличиваться содержание серы. Максимум азота отмечен в крови примерно в 16 часов, а минимум – в 20 часов. Суточный ритм проявляется в изменении содержания в крови натрия, калия, кальция и фосфора.

Суточная периодичность наблюдается также в изменении скорости реакции оседания эритроцитов (РОЭ); наибольшая скорость отмечена вечером между 21 и 22 часами, наименьшая – утром.

С суточной цикличностью кровообращения имеет непосредственную связь периодичность работы желез внутренней секреции. Отмечена четкая суточная периодичность содержания адреналина в крови. Максимальное его количество в девять часов утра, минимальное – в 18 часов. Адреналин учащает пульс, повышает артериальное давление, активизирует весь организм. Накопление адреналина в крови происходит еще до начала активной деятельности, что способствует заблаговременной подготовке к деятельности всего организма.

Обнаружен суточный ритм и в содержании гормона серотонина в шишковидной железе.

В организме постоянно происходит самообновление клеток. Причем скорость их деления ритмически изменяется на протяжении суток. В течение суток в кровеносных органах изменяется количество форменных элементов. Наибольшее количество делений клеток роговицы глаза приходится на утреннее время и наименьшее – на ночное. На протяжении суток периодически изменяется количество делений клеток в костном мозге.

Суточную периодичность можно наблюдать в изменении биоэлектрической активности мозга в дневное и ночное время. Ночью в электроэнцефалограмме человека появляются медленные волны с увеличенной амплитудой, днем, наоборот, преобладают быстрые волны с небольшими амплитудами.

Можно было бы привести множество других примеров изменения физиологических функций в организме человека на протяжении суток. Однако перечисленных примеров достаточно, чтобы понять, что суточным ритмом охвачен весь организм человека, представляющий собой единую систему взаимодействия всех органов, тканей и клеток. Ритмичность физиологических процессов, отражающая единство организма и среды, их взаимодействие проявляются в организме человека в том, что их максимумы и минимумы приурочены к определенным часам суток. Объясняется это тем, что характер проявления физиологических реакций организма в разное время суток различен и в основном зависит от факторов внешней среды. Они-то в дальнейшем и приобретают сигнальное значение в процессе индивидуальной жизни человека. Благодаря приспособлению к ритмически изменяющимся условиям внешней среды в организме человека происходит физиологическая подготовка к активной деятельности даже тогда, когда организм находится в состоянии сна. И, наоборот, организм человека готовится ко сну задолго до засыпания.

Подготовка организма человека к состояниям бодрствования и покоя сопровождается сдвигом реакции организма на физические нагрузки, что выражается в изменении его работоспособности (рис. 1.2). Большинство людей в течение суток имеет два пика повышенной работоспособности. Первый подъем наблюдается утром с восьми до 12 часов, второй – вечером между 17 и 19 часами. В это время человек становится наиболее «сильным», у него повышается острота орга-

нов чувств: в утренние часы он лучше слышит и лучше различает цвета. Наиболее «слабым» человек оказывается с двух до пяти и с 13 до 15 часов. Однако в разные дни могут быть небольшие отклонения, связанные с изменением работоспособности в любое время суток, а также с воздействием на вторую сигнальную систему самовнушением или убеждением.

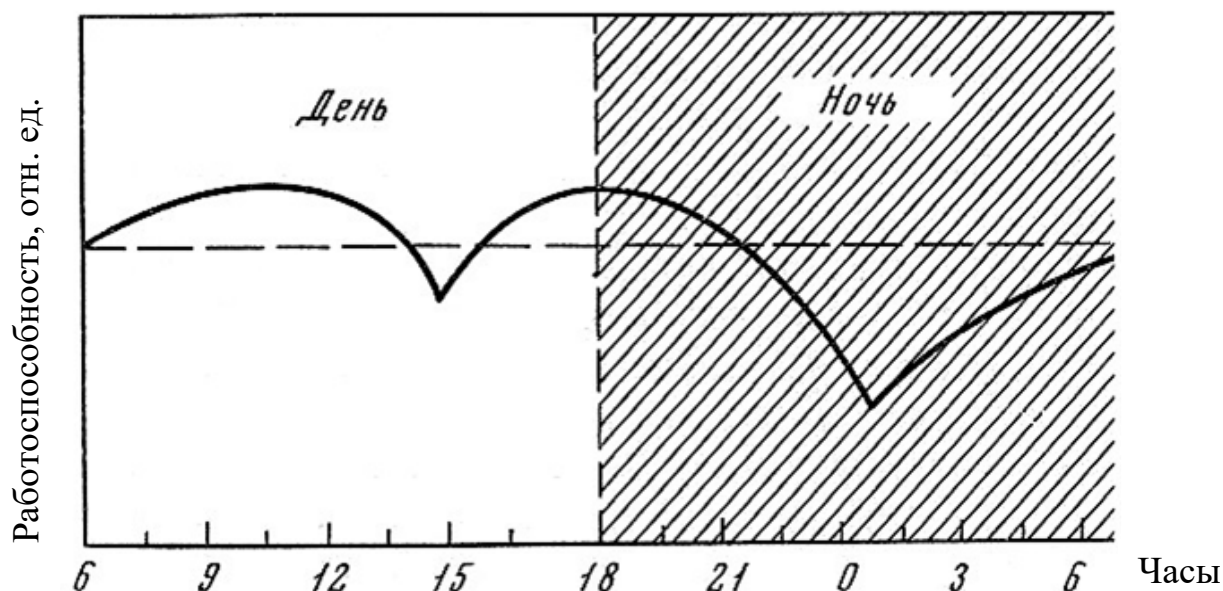


Рис. 1.2. Изменение работоспособности у человека на протяжении суточного цикла

Исходя из сказанного, возможно, следовало бы самую трудную и ответственную работу выполнять в периоды естественного подъема работоспособности, оставляя для других менее важных дел остальное время относительно низкой работоспособности. Но из правил есть исключения. Бывают случаи, когда время наибольшей продуктивности в труде (особенно это относится к умственному труду) приходится на ночные или вечерние часы. Таких людей принято называть «совами» в отличие от «жаворонков» — людей, имеющих наибольшую работоспособность в утренние и дневные часы (рис. 1.3). «Жаворонки», как правило, просыпаются рано, чувствуют себя бодрыми и работоспособными в первой половине дня.

«Совы» засыпают поздно ночью, встают также поздно утром и работоспособны бывают во второй половине дня.

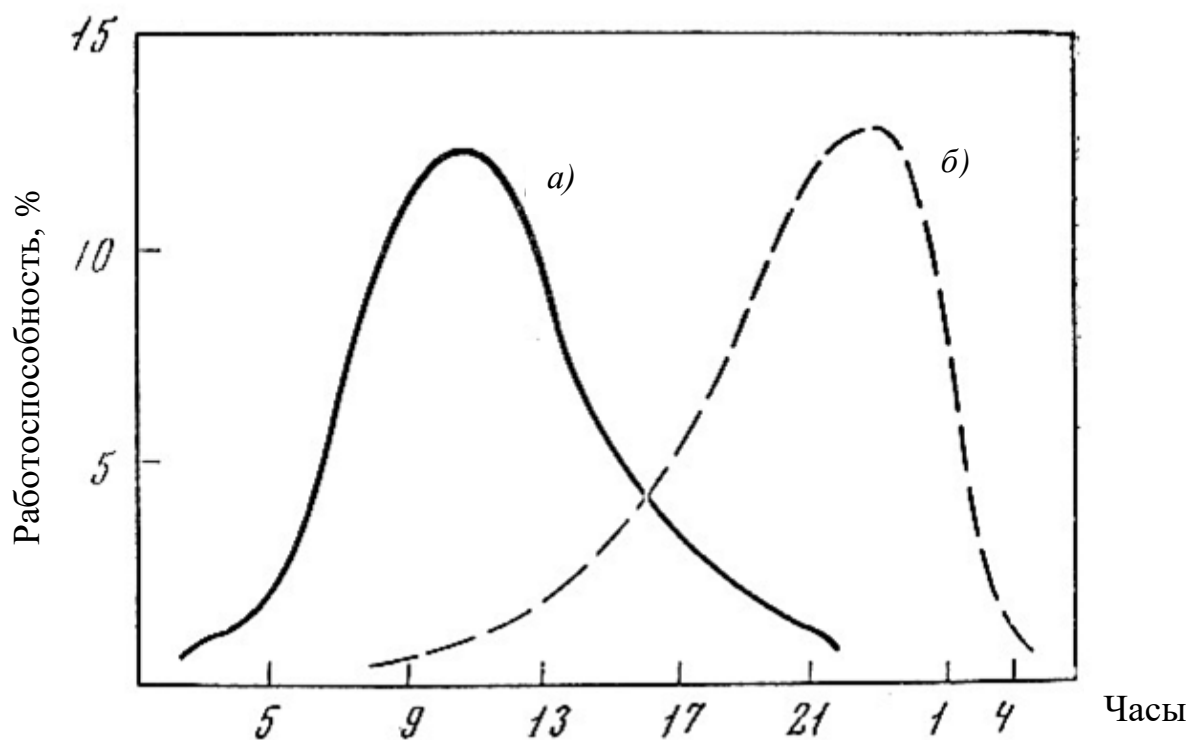


Рис. 1.3. Распределение работоспособности у «жаворонков» (а) и «сов» (б)

В результате экспериментальных исследований немецкий физиолог Р. Хамп установил, что $1/6$ часть людей относится к лицам утреннего типа, $1/3$ — вечернего типа, половина людей легко приспосабливается и к утреннему, и к вечернему режиму труда. Последних называют «аритмиками». Это преимущественно люди, занятые физическим трудом. К лицам вечернего типа в основном относятся работники умственного труда.

Биологические часы человека отражают не только суточные природные ритмы, но и имеющие большую продолжительность, например сезонные. Сезонные изменения физиологических процессов подтверждаются многочисленными исследованиями ученых. Они проявляются в организме человека в повышении обмена веществ весной и снижении его осенью и зимой, в увеличении процента гемоглобина в крови и изменении возбудимости дыхательного центра в весеннее и летнее время.

Некоторые исследователи замечают, что сезонная изменчивость физиологических процессов, наблюдаемая на протяжении года, по своему характеру напоминает суточную периодичность. Состояние

организма в летнее и зимнее время в какой-то степени соответствует его состоянию днем и ночью. Так, зимой по сравнению с летом снижалось в крови содержание сахара (аналогичное явление происходит и ночью), увеличивалось количество аденозинтрифосфорной кислоты и холестерина.

В качестве примера сезонных влияний на организм человека можно привести изменения количества эритроцитов и гемоглобина, кровяного давления, частоты пульса, РОЭ и так далее в зависимости от времени года.

В организме человека биологические часы проявляются не только в изменении физиологических процессов, имеющих суточную и сезонную периодичность, но и в регулировании функционального состояния человека с околосесячной периодичностью.

С давних пор было замечено, что в различные периоды времени люди чувствуют себя неодинаково. В некоторые дни у них прилив сил и бодрости, хорошее настроение, они внимательны и работоспособны, в другие же, наоборот, упадок сил, вялость, рассеянность, все валится из рук. В данном случае необходимо принимать меры предосторожности. В такие «плохие» дни не следует планировать важных дел.

Японская транспортная фирма «Оми райлвей компани» призывает водителей автобусов быть особенно внимательными в их «плохие» дни. Водители, получившие такое предупреждение, стараются быть предельно осторожными на опасных и напряженных участках маршрута. С 1969 г., когда фирма начала применять эту систему, число дорожных происшествий значительно снизилось. В первый же год оно уменьшилось сразу вдвое.

В основе этой системы лежит теория биоритмов, предложенная еще в конце XIX в. венским психологом Г. Свободой и берлинским врачом В. Флейсом. Согласно этой теории жизнь каждого человека, начиная с момента рождения, протекает в соответствии с тремя отдельными циклами: физическим циклом продолжительностью 23 дня, эмоциональным (или, как его еще называют, чувствительным) циклом, длящимся 28 дней, и интеллектуальным циклом – 33 дня (рис. 1.4). Каждый цикл имеет положительную и отрицательную полуволну, составляющую соответственно положительный и отрицательный периоды. Для положительного периода характерны подъем работоспособности, улучшение физического, эмоционального и интеллектуального

состояния человека, для отрицательного, наоборот, – спад, ухудшение состояния. Так, например, в физическом цикле 11,5 дня положительного периода представляют собой хорошее время для интенсивных занятий спортом, а также для любой другой деятельности, требующей физических сил. В остальные 11,5 дня отрицательного периода физического цикла возникает снижение тонуса и выносливости организма. Иначе говоря, в эти дни человек легче устает.

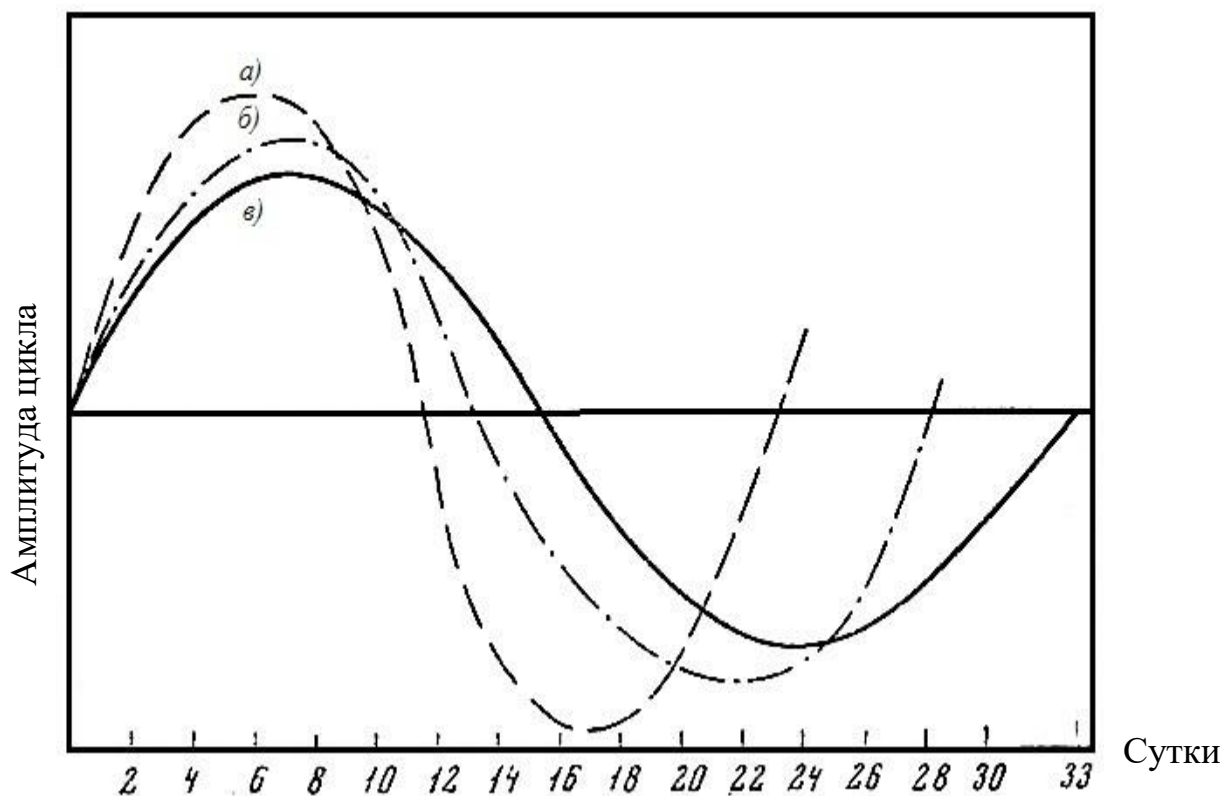


Рис. 1.4. Графическое изображение физического (а), эмоционального (б) и интеллектуального (в) циклов человека

Положительный период эмоционального цикла, как правило, проявляется в хорошем настроении, бодрости, оптимизме и общительности людей. Наоборот, оставшиеся 14 дней отрицательного периода эмоционального цикла сопровождаются плохим настроением и пессимизмом.

Для интеллектуального цикла характерна интенсивность работы мозга. При его положительном 16,5-дневном периоде человеку легче даются учеба, решение математических задач и вообще любое интеллектуальное занятие.

Все три цикла имеют переход от положительной полуволны к отрицательной. День, совпадающий с таким переходом, назван критическим, или нулевым днем. Этот день считается «плохим». Именно в такой критический день при физическом цикле, как показали наблюдения, с людьми чаще всего происходят несчастные случаи. Критический день для эмоционального цикла характеризуется различными эмоциональными срывами, а критический день интеллектуального цикла – ухудшением умственной работы.

В связи с этим администрация фирмы «Оми рэйлвей компани» давала информацию водителям не об отрицательных, а о нулевых, критических днях. Подсчет ритмов водителей производился на ЭВМ. Было определено, что в среднем нулевые дни одного из циклов случаются один раз в шесть дней, а двойные нулевые дни – примерно шесть раз в году. Совпадение же критических дней всех трех циклов бывает лишь один раз в год (это самый опасный день).

Для того чтобы каждый мог определить свои биоциклы, американский журнал «Стрэнгс энд хэлс» приводит довольно несложные расчеты. Они основаны на предположении, что биологические циклы имеют с момента рождения стабильную длительность. Отсюда вычислительная операция сводится к подсчету общего числа дней, прожитых со дня рождения до определяемой даты, и деления полученной суммы на число дней, составляющих длительность циклов (23, 28, 33). Количество дней, оставшихся сверх целого числа циклов, полученных в результате деления, и будет указывать, в какой фазе физического, эмоционального и интеллектуального циклов находится человек в определяемый день (рис. 1.5).

Например, для 40-летнего человека общее число прожитых со дня рождения дней будет 14600 (365×40) плюс 40 дней за счет високосных лет. Итого получится 14 640 дней. Для физического биоцикла останется 5 дней, для эмоционального – 22, а для интеллектуального – 24. Следовательно, у этого человека будет положительный физический цикл и отрицательные эмоциональный и интеллектуальный.

Гипотеза околумесячных биологических циклов человека, определяющих его функциональное состояние, используется не только японской фирмой «Оми рэйлвей компани», но и многими другими фирмами и учреждениями как в нашей стране, так и за рубежом. Она опирается на некоторые факты и в принципе не противоречит осно-

вам наших знаний. Эту гипотезу следует осмысливать с позиции фактов и теорий науки, которые свидетельствуют, что хотя биологические ритмы важны для жизнедеятельности, они вовсе не определяют роковым образом физические и психические возможности человека, а тем более поведение личности в целом. В организме человека имеются беспредельные возможности для компенсации временного снижения тех или иных функций.

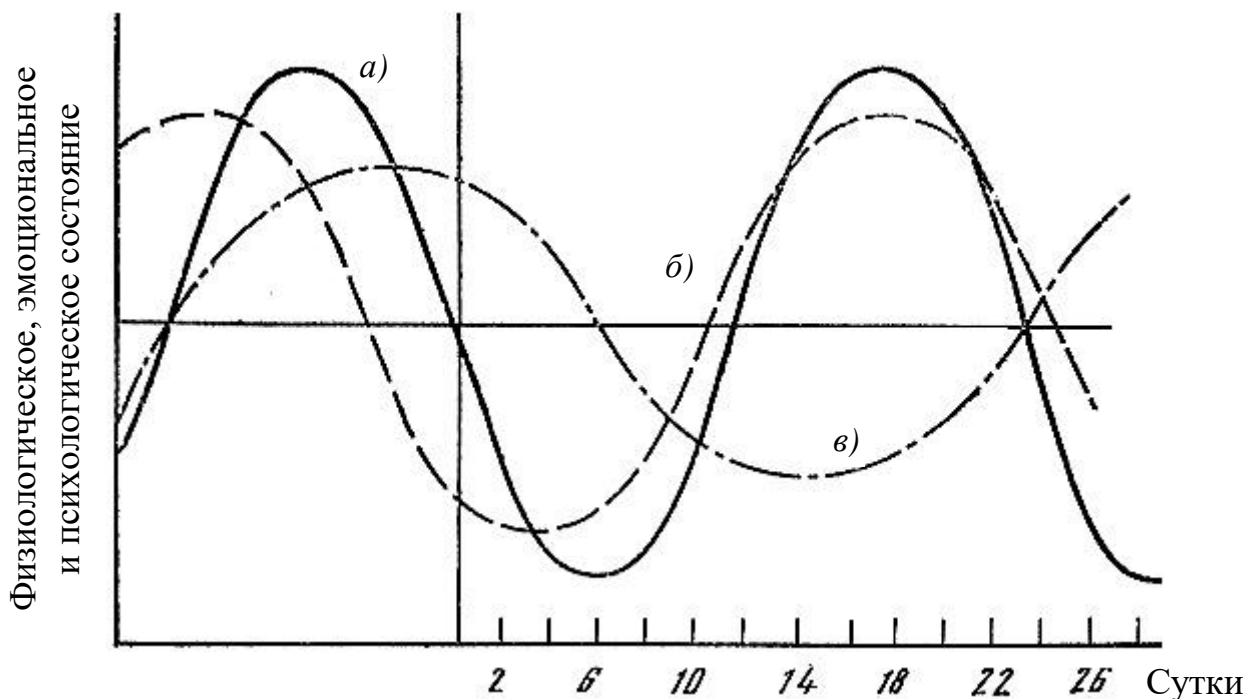


Рис. 1.5. Совместное проявление физического (а), эмоционального (б) и интеллектуального (в) циклов человека

Следует иметь в виду, что естественный ритм жизнедеятельности организма обусловлен не только его внутренними факторами, но и внешними условиями. Для спортсмена одним из условий компенсации снижения физических возможностей во время отрицательного периода физического цикла являются тренировки, распределение ее во времени и чередование с отдыхом. Это же относится не только к спортсменам, но и к людям любой специальности, занятым физическим или умственным трудом. Однако вопросы, связанные с использованием околосуточных биологических циклов для получения лучших результатов в деятельности человека, наиболее подробно изучены на спортсменах.

В исследованиях, проведенных на спортсменах, была замечена неожиданная закономерность. В большинстве случаев высокие спортивные результаты у мужчин отмечались через два года на третий, у женщин – через год. Эти данные подтвердились на спортивных достижениях при исследовании 8000 случаев. Было установлено также, что через два и двенадцать месяцев после дня рождения у человека наступает некоторое ослабление организма. Как показал анализ, период времени между этими месяцами благоприятен (наиболее благоприятный первый месяц после дня рождения).

В результате исследований был выявлен волновой характер изменения нагрузок в спортивной тренировке. Прежние представления о неуклонном и прямолинейном наращивании тренировочных нагрузок оказались несостоятельными. Волнообразный характер изменения нагрузок в процессе тренировок связан с внутренними биологическими ритмами человека. Различают три категории «волн» тренировок: «малые», охватывающие от 3 до 7 дней (или несколько более), «средние» – чаще всего 4 – 6 дней (недельные тренировочные процессы) и «большие», продолжающиеся несколько месяцев.

Основная задача при определении «волн» тренировки – правильный подбор соразмерности оптимальных параметров «волн» с возможностями спортсмена. Иначе говоря, необходимо так планировать физические нагрузки, чтобы они не превышали определенный уровень и в то же время были стимулом для роста спортивных показателей. В этом случае учитываются два основных фактора, взаимодействующих между собой, – тренировочная нагрузка (воздействие) и конкретное функциональное состояние спортсмена в этот момент. Ритм же тренировки определяется как внутренними биологическими ритмами, так и внешними факторами (нагрузкой). Словом, при определении оптимального режима тренировки спортсмена, а также любого человека, занятого физическим или умственным трудом, важно учитывать взаимодействие внутренних ритмов (биологических часов) с внешними факторами воздействия. Таким образом, биологические ритмы человека необходимо учитывать в определении оптимальных режимов его трудовой деятельности.

Как мы могли убедиться, биологические часы живых организмов, в том числе и человека, проявляются во всех жизненных процессах. Без них невозможна была бы жизнь. Поэтому при изучении биологических часов важно не только знать об их существовании, но и учитывать их локализацию и роль в жизни. Этот этап изучения биологических часов необходим при исследовании их природы и механизма работы.

1.2.3. Космические ритмы. Биоритмология

До сих пор рассматривались наблюдения, обосновывающие следующую простую схему: на Солнце в активной области происходит некоторое быстрое изменение; сигнал от этого события в виде возмущения в солнечном ветре или возрастания коротковолнового излучения приходит к Земле; как следствие в магнитосфере и (или) в ионосфере имеет место геофизическое возмущение – развиваются соответственно магнитная буря, внезапное ионосферное возмущение геофизических полей в среде обитания – резко усиливаются интенсивности электромагнитных волн и акустических колебаний (сверхдлинных радиоволн, инфразвука); организмы реагируют на эти экологические изменения. Реагируют все виды организмов – от одноклеточных до человека; когда приспособительные механизмы организма действуют нормально, фиксируются те или иные изменения физиологических (биохимических и т. д.) показателей, спустя какое-то время они возвращаются к норме; если упомянутые приспособительные механизмы работают плохо (у организма, подверженного какому-нибудь заболеванию), возникает (усиливается) болезненное состояние.

Оказывается, если сигнал солнечного происхождения имеет выраженную периодичность, возникает особый тип солнечно-биосферных связей: появляется сопряженность между биологическими колебаниями, всегда существующими в организмах и их сообществах, и периодическими изменениями экологических переменных.

В таком случае доказательством солнечно-биосферных связей служат уже не изменения самих показателей жизнедеятельности, а близость либо совпадения между периодами, найденными в солнечных наблюдениях, и периодами биоритмов. Действительность всегда

сложнее любых моделей. Поэтому указанные механизмы иногда перекрываются или действуют совместно. Солнечные вспышки в шкале месяцев располагаются во времени беспорядочно, соответственно без выраженного периода следуют магнитные бури с внезапным началом. Но активные области на Солнце (в них и происходят хромосферные вспышки!) присутствуют только в эпохи максимумов солнечной активности. Поэтому в частоте следования вспышек с внезапным началом (и связанных с ними магнитных бурь) имеется 11-летний цикл (рис. 1.6). Когда вспышки случаются часто, в вероятности их появления, как уже говорилось, иногда хорошо заметен 155-суточный период.

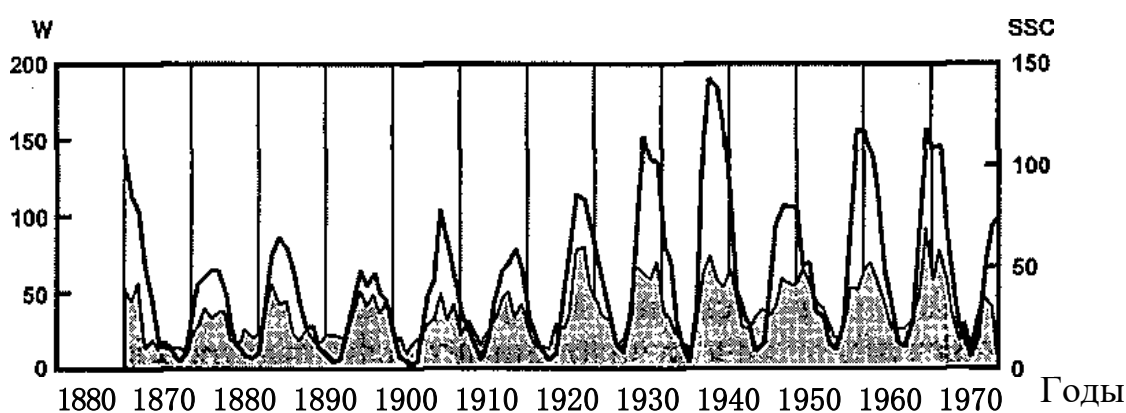


Рис. 1.6. Динамика следования бурь с внезапным началом (SSC) в 11-летнем цикле солнечной активности (W)

В настоящее время установлено, что необходимым условием существования любого организма (или их сообществ) является согласованность во времени деятельности всех их органов. Организацию физиологических (биохимических и т. д.) процессов во времени у человека, животных и растений изучает особая дисциплина – биоритмология.

Биологические ритмы – это периодические изменения функциональной активности различных органов и подсистем организма. Впервые такое явление в европейской науке было описано французским астрономом де Мераном. Он наблюдал у растений, содержащихся в темноте и при постоянной температуре, суточную периодичность движения листьев. Эта периодичность оказалась тождественной с движением листьев растений, находившихся в условиях обычного чередования светлого и темного периодов суток. Долгое время имен-

но такая – околосуточная (еще одно название – циркадианная) – ритмика жизнедеятельности различных организмов и была предметом исследований. Изменение околосуточной ритмики позволило установить все важнейшие закономерности, которыми оперирует современная биоритмология.

В настоящее время твердо установлено, что временную организацию всех биологических систем следует характеризовать не только суточным периодом, но целым набором различных периодов с продолжительностью от минут до многих лет. Такой упорядоченный набор периодов называют обычно, как уже говорилось, спектром.

В таблице представлена классификация биоритмов по продолжительности соответствующих периодов. В последней колонке отмечено происхождение ритмов. Они делятся на эндогенные (эндо – внутренний) и экзогенные (экзо – внешний). Эндогенные ритмы представляют собой самовозбуждающиеся автоколебания, о которых уже шла речь выше. В биологических системах эти колебания контролируются специальными структурами. Важнейший элемент в них – «водитель ритма» (пейсмейкер) – «задающий генератор», своими ритмическими сигналами упорядочивающий осцилляции данной подсистемы или органа. Для суточной ритмики организма человека роль пейсмейкера выполняет особый элемент центральной нервной системы – супрахиазматические ядра, находящиеся в промежуточном мозге. Поскольку в организме ритмов много – много независимых пейсмейкеров, необходима еще особая система для согласования (координации) их работы. В деятельности этой управляющей системы более высокого ранга важнейшая роль принадлежит так называемой шишковидной железе – эпифизу, которая также является структурой промежуточного мозга. Все биологические осцилляторы («биологические часы») устроены так, что их частота (период), амплитуда и фаза не остаются строго постоянными – они все время чуть-чуть «блуждают». Такая особенность устройства биологических часов облегчает их согласование с ритмикой внешней среды. В процессе такого сравнения (напоминающем проверку обычных часов сигналами точного времени) важную роль выполняют уже упомянутые структуры мозга.

Классификация биологических ритмов

Класс	Диапазон периодов	Примеры биологических ритмов	Комментарий
Микро-ритмы	Минуты – доли секунд	Периодические изменения биопотенциалов мозга – 10 – 45 минут. Периоды в показателях сна – около 1,5 – 2 часа. Периоды в скорости синтеза белка, периоды в изменении размеров клеток – 1 – 2 часа	Как правило, ритмы эндогенные, не связаны непосредственно с изменениями внешней среды
Мезо-ритмы	Более суток – несколько месяцев	Вариации физиологических функций организма человека – 3,5, 7, 26 – 35 суток. Периодичность прироста млекопитающих – 10 – 12 суток.	Почти все ритмы эндогенные, синхронизованные с периодическими изменениями внешней среды
Макро-ритмы	Более полугодия – десятки лет	Творческая активность человека – 8 месяцев, 6 лет. Периоды протекания эпидемий – 3 года. Периоды волн жизни – 5, 10 лет. Циклы прироста деревьев – около 20 лет	Часто встречаются экзогенные ритмы, во многих случаях происхождение не ясно

Автоколебания возникают при определенных условиях и на уровне систем организмов. В самых общих чертах механизм возбуждения таких колебаний был выяснен при анализе обратных связей систем «хищник – жертва» и «паразит – хозяин». Внешнее проявление их – биологические ритмы на «надорганизменном» уровне: периодические изменения численности популяций, эпидемии – эпизоотии, охватывающие обширные территории. Ритмика, обусловленная автоколебаниями на уровне систем организмов, занимает обычно диапазон макроритмов.

Не во всех случаях биоритмы являются автоколебаниями. В некоторых ситуациях организм или биоценоз изменяют свои показатели просто в ответ на изменения определенных параметров внешней среды. При подобном «пассивном» следовании биологических показателей за изменениями внешней среды биоритмы возникают, если в самом влияющем факторе имеется выраженный период. Так, в береговой зоне периоды приливов и отливов определяют весь уклад жизни многих организмов. Такие экзогенные ритмы встречаются чаще в диапазоне макроритмов. Для того чтобы определить, относится тот или иной биоритм к классу эндогенных или экзогенных колебаний, необходимо провести экспериментальные наблюдения того же типа, что делал де Меран: поместить организм в условия полной стабильности

всех факторов внешней среды и посмотреть, сохраняется ли данный биологический ритм. У человека, например, суточная периодичность всех показателей жизнедеятельности сохраняется даже в условиях длительного пребывания в условиях пещер. Следовательно, это автоколебания. Однако в условиях такой глубокой изоляции от привычной внешней среды мозг не располагает необходимой информацией о временных поправках. Поэтому через определенное время период колебаний начинает возрастать, и наступает расхождение между физиологическими показателями организма и чередованиями дня и ночи.

Установление соответствия между биологическими автоколебаниями и периодической экологическими факторами внешней среды происходит путем синхронизации. Ритмика внешней среды является для биологических осцилляций вынуждающей силой. Здесь сохраняют свое значение все те универсальные закономерности, о которых уже шла речь, в том числе возможность синхронизации сигналом с чрезвычайно малой амплитудой.

Современная биоритмология оперирует еще одним важным понятием, без которого невозможно рассмотрение солнечно-биосферных связей. Это особое функциональное расстройство организма – десинхроноз. Между различными биологическими осцилляциями в организме существуют определенные соответствия. Оказалось, что нарушение временного согласования между разными подсистемами организма ведет к развитию заболевания. И наоборот – развитие болезни, как правило, сопровождается десинхронозом. Нарушение временной упорядоченности в организме может быть вызвано иногда, казалось бы, пустяком: приемом какого-нибудь сильного лекарства «не вовремя». Нарушение в режиме работы внешнего синхронизатора биологической ритмики, конечно, также приводит к десинхронозу. Именно таково происхождение профессионального заболевания пилотов авиалайнеров, все время пересекающих часовые пояса: для их суточной ритмики «датчик времени» – смена тьмы и освещенности – работает «беспорядочно». Считается, что любое достаточно резкое изменение ритмики внешней среды обязательно должно сопровождаться десинхронозом.

Мир биологических ритмов необычайно обилен и разнообразен. Примеры, представленные в 3-й колонке таблицы, выбраны так, чтобы в какой-то степени иллюстрировать неисчерпаемое богатство этих явлений. На записях биоэлектрических потенциалов коры головного

мозга человека (электроэнцефалограммы, ЭЭГ) микроритмы с периодами около 10 минут, а также 22 минуты и 45 минут обычно непосредственно не видны (обнаруживаются специальным анализом). Они, однако, интересны тем, что могут наблюдаться в психофизиологических показателях. У нас все время происходят переходы «осознаваемое – неосознаваемое»: при слушании речи человек незаметно для себя отвлекается, затем, спохватившись, продолжает слушать. Близкая ритмика есть и в показателях сна. Так, циклы сна, называемого парадоксальным (в это время происходят быстрые движения глаз), имеют длительность около 120 минут. Продолжительность цикла сильно варьируется у разных людей. Подобные же ритмы есть у многих позвоночных. Они, конечно же, являются эндогенными и никак, похоже, не «привязаны» к ритмике внешней среды. Разнообразные колебания микроритмов обнаружены при наблюдениях над клетками. Это периодические вариации в скорости синтеза белка, циклы изменения размеров клеток и их органелл. Здесь преобладают периоды около часа, но встречаются еще периоды около 20 минут, 150 минут. Полагают, что все такие осцилляции являются автоколебаниями. Они не вполне устойчивы (период может скачкообразно изменяться), как будто нет признаков связи подобных колебаний с изменениями внешней среды. Еще один интересный пример микроритмики относится к медицине. Оказывается, для определенной географической области первые клинические признаки многих заболеваний приходятся на вполне определенные часы местного времени: если отсчитывать от полуночи, то (часы) 2,5; 9,5; 14,5; 18,5; 22,5 – пять максимумов повышенной вероятности начала патологических процессов соответствуют периоду около 288 минут (Л. Я. Глыбин).

Один из самых важных мезоритмов – период около недели – был открыт еще в начале XX в. замечательным русским врачом Н. Я. Пэрна. На это открытие не обращали внимания еще целых полвека, пока из анализа ежедневных измерений обычных физиологических показателей у большой группы людей не было обнаружено сразу целое семейство многодневных ритмов, где были представлены половина недели, собственно неделя и ее удвоенные и утроенные аналоги. Одно время казалось, что неделя не может рассматриваться как «настоящий» ритм: ведь во многих видах данных этот цикл мог бы появиться как следствие неоднородности измерений в пределах календарной недели. Однако позже было надежно установлено, что околонедельная

ритмика есть у организмов, жизнь которых никак не связана с человеческим календарем. Период $7,0 \pm 0,5$ суток был выделен в вариациях скорости роста водорослей и моллюсков, частоте кладки яиц насекомых, помещенных в стабильные условия, изменчивости иммунитета мышей, колебаниях активности шишковидной железы (эпифиза) крыс. Установлено также, что указанный период в некоторые эпохи заметно отличается от недели и что существует еще ритм продолжительностью около девяти суток. Выяснилось также, что параметры околонеделных ритмов – точное значение периода, амплитуда, фаза для данного показателя (температура тела, например) изменяются от одного человека к другому.

Самый известный биологический ритм диапазона мезоритмов – околόμεсячный. Выяснено, что на самом деле близ этого периода располагается целое семейство ритмов. В статистических исследованиях, проведенных в США, обнаружен, например, период около 35 суток: в частоте телефонных обращений за психиатрической помощью, частоте следования попыток самоубийств. Но ритм поступления больных в крупнейшую в Крыму психиатрическую клинику очень близок именно к календарному месяцу: средняя величина периода за 30 лет наблюдений составляет $28,3 + 0,3$ суток (В. П. Самохвалов). Более длительные ритмы рассматриваемого диапазона изучены мало. Все, конечно, слышали о существовании регулярных изменений биомедицинских показателей с периодом в полгода (около 180 суток). В вариациях концентрации гемоглобина в крови здоровых людей есть периоды около 155 и 235 суток (Э. Н. Чиркова, Москва).

Наконец, диапазон макроритмов. По очевидным причинам они изучены совсем мало. Даже для обстоятельно изученных годовых (сезонных) ритмов имеются вопросы без ответа. Чаще всего годовая ритмика рассматривается как типично экзогенная («неавтоколебательная»). Но какой физический агент вызывает сезонные изменения в показателях клеток культуры тканей, находящейся в полной темноте в шкафу термостата?

Для макроритмов целесообразно рассматривать отдельно случаи периодических изменений каких-нибудь показателей для индивидуальных организмов и для их совокупностей, составляющих единую систему, биоценоз. В первом случае ситуация такая же, как для ритмов мезодиапазона: для выявления устойчивого ритма необходимо рассматривать ряд измерений какого-нибудь показателя данного ор-

ганизма. Так был найден околоритмический цикл в высших спортивных достижениях выдающихся спортсменов. Было обнаружено, что рецидивы туберкулеза, характер диагностической реакции на это заболевание (реакция Пирке) имеют цикл около трех лет. Заболеваемость и обострения течения шизофрении показывают тенденцию к повторению через каждые пять и 10 – 11 лет. Продуктивность в различных видах творческой активности (ученые, инженеры, поэты, музыканты, художники) также имеет ясно выраженную периодичность. Чаще всего встречаются ритмы 2,0 – 2,5 года, около семи лет, около 10 – 12 лет. Не следует удивляться использованию социально-культурологических показателей для выявления биологических колебаний. Удачное решение творческой задачи существенным образом зависит от психофизиологических показателей организма: как и в спорте, высшее достижение требует предельного напряжения всех духовных и физических сил. Понятно, что эти ритмы могут быть как эндогенными, так и экзогенными.

Совсем по-другому обстоит дело, если рассматриваются изменения показателей экосистемы – биоценоза, когда популяции организмов разных видов объединены в единую систему. Примером здесь могут быть инфекционные заболевания человека. Вероятность заболевания в данном случае зависит не только от состояния организма человека (степени благополучия его иммунной системы). Она зависит также от выживаемости и болезнетворных свойств микробов-возбудителей. Одновременно упомянутая вероятность зависит еще от эффективности переноса возбудителя, а это могут быть, скажем, мелкие грызуны. В системе «иммунитет человека – распространенность и болезнетворность бактерий – численность популяции переносчика» вполне возможно самопроизвольное возбуждение колебаний. Ведь для каждого члена этой триады в отдельности обязательно имеют место ритмические изменения многих их свойств. Все сказанное относится и к эпидемическим заболеваниям животных и растений. В общем, биологические ритмы – автоколебания на уровне популяций – явление распространенное и заурядное. Только в некоторых простых случаях удастся разобраться в механизмах возбуждения колебаний (уже упоминавшиеся системы «хищник – жертва», «паразит – хозяин»). Во многих случаях общепринятых моделей колебаний не создано. В данном случае это не очень важно. Главное – уяснить, что мы имеем дело именно с колебаниями, такими как «волны жизни»: чис-

ленность популяции данного вида все время осциллирует относительно некоторого устойчивого среднего. Автоколебания на уровне популяций могут синхронизоваться какими-то внешними периодическими воздействиями. Конечно, могут реализоваться и более сложные колебательные режимы, например биения.

В области макроритмов известны и ритмы экзогенные. Таковы ритмы в изменчивости прироста деревьев – вариации толщины годового кольца. В большинстве случаев они отражают циклы погоды и зависят от географической области и типа ландшафта. Есть регионы, где выраженной периодичности в приросте нет.

Конечно, ритмика продолжается и за условными пределами (см. таблицу), но периоды большой длительности изучены мало. Вероятно, все они экзогенные и отражают соответствующие экологические циклы. Из таких длительных циклов широко известен период около 60 лет, который был открыт, возможно, в незапамятные времена (его упоминают халдейские жрецы Берос и Плутарх). Самый длительный природный цикл, наличие которого доказано, составляет 2400 лет.

1.2.4. Биоритмы, управляемые солнечной активностью

Отвечая на тот же вопрос – что показывают наблюдения? – можно теперь сопоставить периоды биологических ритмов с циклами солнечной активности, с периодами, найденными в различных космофизических наблюдениях. Для микроритмов такое сопоставление на первый взгляд кажется лишенным смысла. В среде обитания как будто нет устойчивых колебаний в этом диапазоне. А солнечные осцилляции с периодом порядка часов, по мнению многих исследователей, все еще не открыты. Существуют, однако, данные, показывающие, что некоторые микроритмы синхронизованы внешним периодическим сигналом. Для одного из видов полевых мышей установлено, что в чередовании активности и покоя у них отсутствует обычный суточный период. Период пищевого потребления – подвижности – у этих животных составляет два часа. Ритмика наблюдается в полевых условиях. В одном из длительных опытов их отлавливали с помощью ловушек, автоматически отмечавших время поимки. Ловушки были разбросаны на некоторой территории. Оказалось, что ловушки, располагавшиеся друг от друга на значительном расстоянии, срабатывали синхронно, с периодом 120 минут.

Еще один интересный пример относится к длительному (два года) эксперименту с дрожжевыми культурами (А. Е. Кузнецов, Москва). В этих опытах систематически измерялась скорость роста стандартных проб дрожжевой суспензии, отбираемых из лабораторного реактора в колбы со свежей питательной средой. Перед началом измерений экспериментатор добивался, чтобы деление клеток в реакторе происходило синхронно. Было установлено, что скорость роста содержала целый набор устойчивых колебаний. Спектр этих колебаний показан на рис. 1.7. Хорошо видны периоды, кратные суткам, – $1/10$, $1/9$ и $1/8$ (соответственно 144, 160 и 180 минут). Присутствуют еще периоды 143,6 и 171,6 минуты. Автор опытов специально изучил колебания около $1/9$ суток и пришел к выводу, что они являются самостоятельными осцилляциями, чей период близок колебаниям, наблюдавшимся в это время на Солнце. Эти колебания происходили синхронно, даже если пробы отбирались из двух независимых реакторов или проводились в двух разных лабораториях. Все обстоит так, как будто наблюдается экзогенная ритмика. Такое предположение вполне оправдывается, если принять во внимание наличие в спектре скорости роста космофизических периодов с продолжительностью около 27 суток. Подробный анализ всего массива описанных измерений показывает, что дрожжевые клетки коллективно реагируют на периодические изменения своего электромагнитного окружения. Чтобы эти изменения чувствовались внутри лаборатории и реактора и охватывали значительную территорию, необходимо, чтобы упомянутое электромагнитное окружение представляло собой радиоволны очень большой длины.

Во многих вопросах, связанных с важным недельным мезоритмом, разобраться особенно трудно. С одной стороны, недельная ритмика сопряжена с геомагнитными индексами, с другой – имеется календарная неделя, так что в среднем за некоторый достаточно большой интервал времени день недели получает свою геомагнитную характеристику. Полярность межпланетного магнитного поля также в некоторые эпохи изменяется еженедельно. В выходные дни в мегаполисах не работают многие промышленные предприятия, что имеет очевидные экологические последствия. В эти же дни реже обращаются в поликлиники, что отражается в медицинской статистике. Таким взаимным переплетением нет конца. И все же многое теперь понятно.

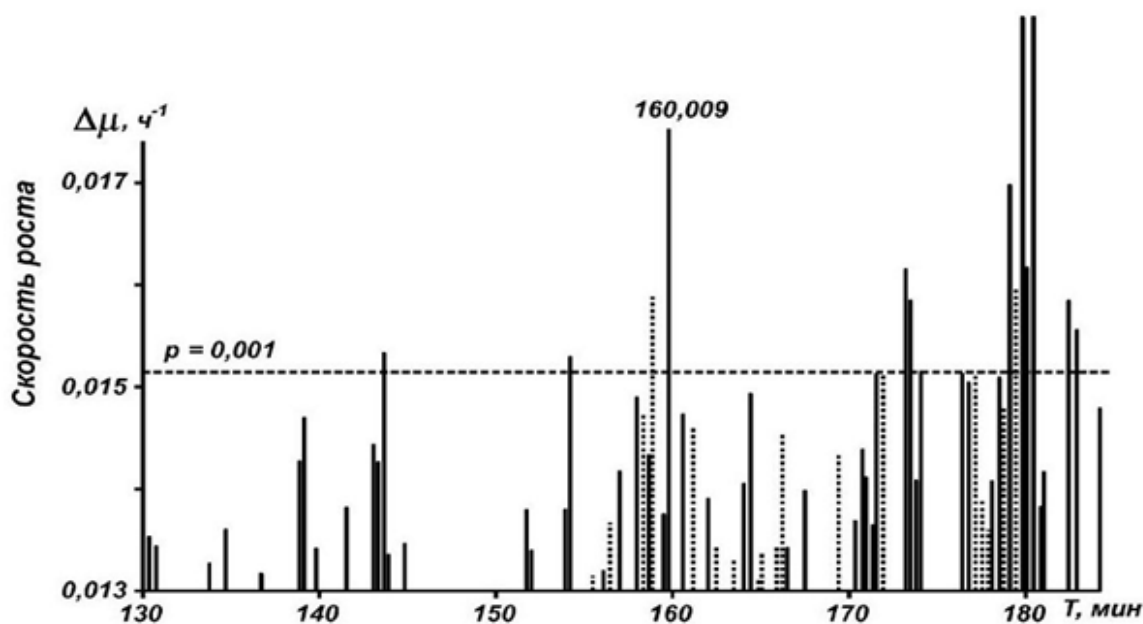


Рис. 1.7. Периодограмма вариаций в скорости роста дрожжевой культуры в длительном лабораторном эксперименте. Выделенные периоды достоверны, когда пересекают линию $p = 0,001$ (А. Е. Кузнецов, Россия)

Иногда недельный цикл (и вообще ритмика этого диапазона) является экзогенным. Ежедневно в двух независимых лабораториях, расположенных на некотором расстоянии, измеряли поглощение воды семенами. Изменения в этом показателе день ото дня происходили в обоих пунктах синхронно, и был хорошо заметен околонедельный цикл (точнее, этот период составлял 7,4 суток).

Установлено, что для некоторых физиологических и медицинских показателей организма человека наряду с недельным циклом присутствует двухнедельный: кровяное давление, неспецифический иммунитет, риск заболеваний (обострений) шизофренией. Точное значение периода обоих этих ритмов изменяется с сезоном и, вероятно, с фазой более длительных ритмов (макроритмов).

Но что является синхронизатором (датчиком времени) околонедельной ритмики? Скорее всего, это могут быть вариации интенсивности (поляризации или спектрального состава) все тех же низкочастотных электромагнитных полей (очень длинных радиоволн).

Самым главным доводом в обосновании этой гипотезы служат результаты специальных экспериментов, проведенных в Таврическом

национальном университете. В этих опытах у крыс сначала определяли амплитуды и фазы мезоритмов (включая недельный период). Потом животных подвергали воздействию слабым переменным магнитным полем на частоте 8 Гц по три часа несколько раз. Дальше вновь находили параметры тех же мезоритмов. Оказалось, что указанные величины после воздействия полем заметно меняются (таких изменений нет для контрольных животных). Попутно в описываемых исследованиях были получены и некоторые другие интересные результаты. Так, оказалось, что воздействие полем может ликвидировать десинхроноз, вызванный у животных искусственным приемом. Выяснилось также, что если десинхроноз вызван у животных удалением одной из управляющих ритмикой систем, в частности эпифиза, мезоритмы под влиянием низкочастотного магнитного поля все равно нормализуются (получается, что у организма для управления ритмикой есть еще какая-то резервная система, управляемая электромагнитными воздействиями).

Наконец, еще одна сложность была обнаружена при изучении околонедельной ритмики сердечно-сосудистых катастроф, фиксируемых службой скорой помощи. Уже упоминалось, что для выделения эффектов магнитных бурь «в чистом виде» в статистике этих заболеваний было признано необходимым исключить периодическую составляющую. После введения такой поправки внезапный рост числа случаев инфаркта миокарда можно было непосредственно сопоставить со всплеском интенсивности сверхдлинных радиоволн, генерированных в магнитосфере во время бури.

Исследователи одновременно поинтересовались, каков же уровень напряженности подобных магнитных полей техногенного происхождения в черте города? Специальные измерения показали, что в Санкт-Петербурге в полосе частот 0,001 – 0,2 Гц эти поля много выше естественных. Конечно, по многим своим признакам поля индустриально-технического происхождения отличаются от полей, связанных с магнитной бурей. Но ведь они также могут оказывать биологическое действие! Далее выяснилось, что интенсивность технических полей резко снижается в выходные дни (суббота, воскресенье). В данных полях имеется недельный цикл! Таким образом, околонедельная ритмика может быть синхронизована электромагнитными полями как есте-

ственными, так и техническими. В крупных городах и малых поселках синхронизация биологической недели происходит по-разному.

Сопряженность календарной недели с одним из самых распространенных космофизических периодов, думается, не оставляет сомнений в ее происхождении: на самых ранних этапах культурной эволюции этот цикл был «вмонтирован» в календарь, чтобы согласовать социально-производственную ритмику первобытной общины с ритмикой естественной.

В самой известной календарной системе Нового Света, развивавшейся независимо от евроазиатской традиции, «вмонтирован» двухнедельный период (13 суток, календарь мая).

Не подлежит сомнению, что околomesячная биологическая ритмика в основном связана с вращением Солнца и его собственными инерционными колебаниями. Конечно, как и в случае недельных циклов, здесь могут быть представлены как эндогенные, так и экзогенные ритмы. С этими ритмами связано много мифов.

Один из них состоит в предположении о тесной связи конкретного месячного ритма (около 30 суток) с менструальным циклом. На самом деле его продолжительность индивидуальна и варьируется в широких пределах – от 22 до 35 суток. Как уже отмечалось, в семействе околomesячных периодов есть дискретное значение, очень близкое к периоду смены фаз Луны. Поэтому много написано о глобальных лунных ритмах и «селеномедицине». Между тем период месячных циклов сильно варьируется.

Уже по одной этой причине такие ритмы не могут быть отнесены полностью к лунным фазам. Сейчас ясно, что основной вклад в околomesячные ритмы вносят гелиогеофизические вариации. Эта связь обнаружена давно. На рис. 1.8 показано, как изменяется число самоубийств в крупных городах Европы (Берлин, Копенгаген, Гамбург, Цюрих) для первой трети XX века, когда через центральный меридиан Солнца проходит активная область (отмечена по кальциевым флоккулам). Такая же связь была независимо найдена для одного из показателей крови японским исследователем М. Такатой в его наблюдениях середины прошлого века.

В исследовании мезоритмов много белых пятен. Некоторые из них вовсе не изучены.

Наиболее наглядно и показательна связь с космическими периодами наблюдается для макроритмов. Спектр экзогенной ритмики прироста деревьев, полученный петербургским биологом Н. В. Ловелиусом, показан на рис. 1.9. Самый большой пик (левый крайний) соответствует хорошо известному фундаментальному циклу солнечной активности 22 года.

Как отмечалось ранее, вариации численности различных организмов в данной географической области обусловлены автоколебаниями. Период зависит от их видовой принадлежности, географической широты и еще каких-то причин. Но вот что важно: величины этих периодов все время оказываются близки или совпадают точно с периодами солнечной цикличности либо кратны им. Для сайгаков Прикаспия изменения численности происходят с периодами 11 и 90 лет. Последний очень близок к периоду «векового цикла» солнечной активности. Период популяционных колебаний полевых в Западной Европе – 3,5 года (близко к 1/3 «основного» 11-летнего солнечного цикла, но в геомагнитных индексах есть близкий период 3,6 года).

Макроритмы в эпидемических процессах были открыты А. Л. Чижевским еще в 20-х гг. прошлого века. На основе изучения обширных массивов статистических данных он нашел близкое соответствие между заболеваемостью (смертностью) целого ряда инфекционных

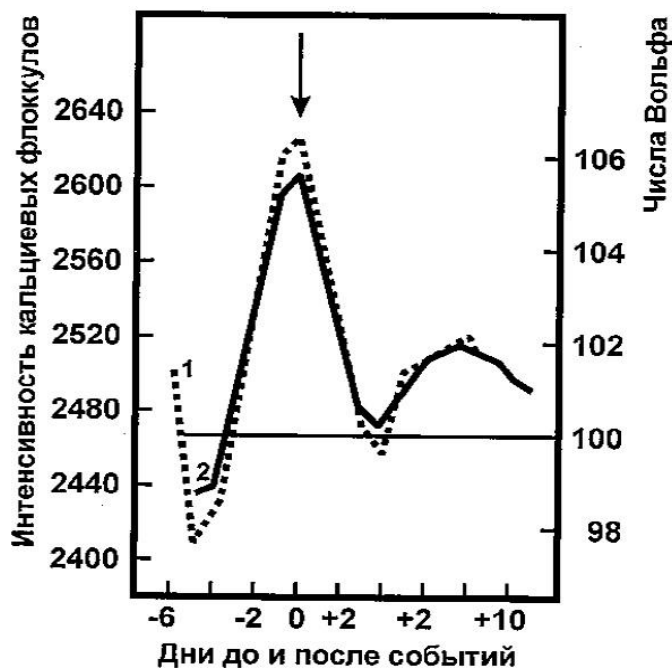


Рис. 1.8. Корреляция числа самоубийств (2) с прохождением кальциевых флоккулов через центральный меридиан Солнца (1) по суммарным данным, зафиксированным в Берлине, Копенгагене, Франкфурте-на-Майне, Гамбурге, Цюрихе (первая треть XX века). Нулевой день – сутки, когда на Солнце наблюдалось прохождение максимума кальциевых флоккулов. Дни со знаком «минус» – до прохождения области через центральный меридиан, «плюс» – дни после прохождения (Э. Дьюи, США)

заболеваний и числами Вольфа. На рис. 1.10 и 1.11 показаны его сопоставления для возвратного тифа (Москва, 1883 – 1918 гг.) и дифтерии (Дания, 1860 – 1911 гг.). На последнем графике отчетливо видно, что введение профилактических мероприятий сразу же нарушило соответствие между числами Вольфа и медицинской статистикой.

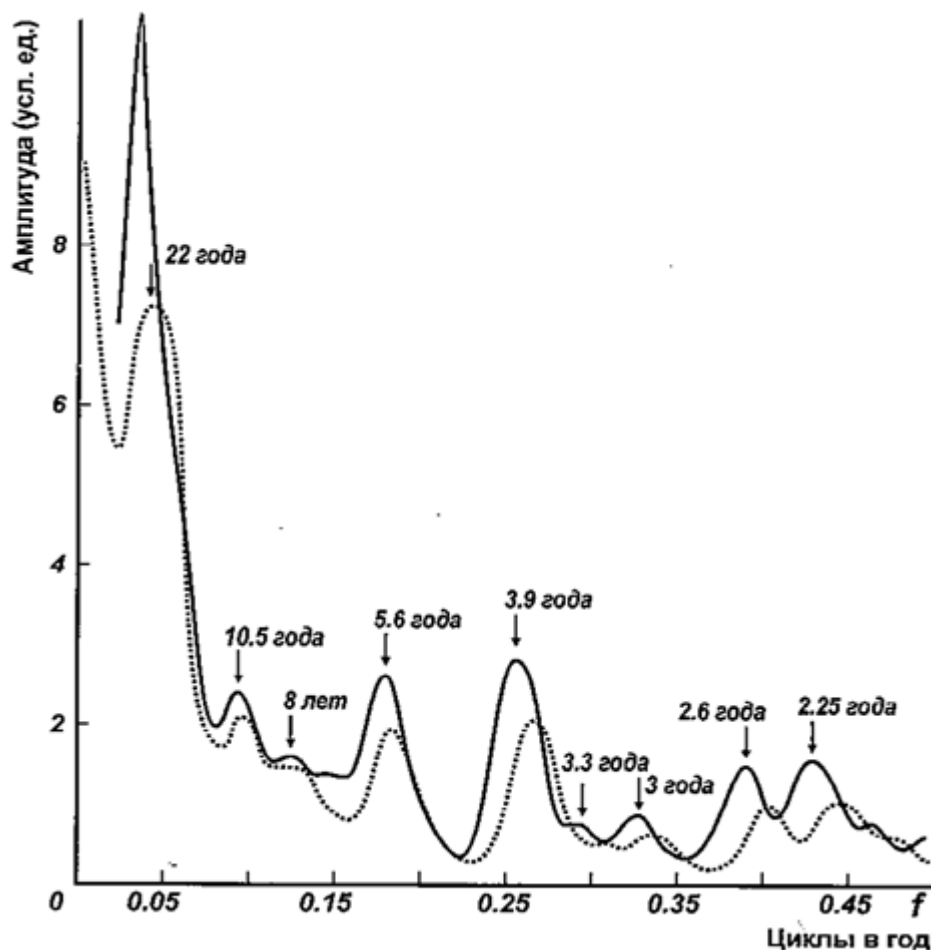


Рис. 1.9. Спектр мощности вариаций толщины годовых колец деревьев в горах Тянь-Шаня: ... – теоретический расчет, — – реальная зависимость (Н. В. Ловелиус, Россия)

Понятно, что повышение эффективности служб здравоохранения сильно усложняет изучение подобных космофизических связей со второй половины прошлого века. Тем не менее последующие исследования подтвердили результаты А. Л. Чижевского. Структура цикличности многих эпидемических заболеваний действительно содержит многие хорошо известные периоды солнечной активности. Так, для четырех заболеваний, статистика по которым наиболее хорошо обеспечена, – дифтерия, скарлатина, корь, коклюш – в спектрах

вариаций заболеваемости представлены периоды (годы): $3,2 \pm 0,1$; $5,5 \pm 0,1$; $8,3 \pm 0,3$; $11,2 \pm 0,2$. Всем этим периодам находят точные двойники в периодах чисел Вольфа. Два первых периода известны также в вариациях магнитной активности (В. Н. Ягодинский, Москва). А. Л. Чижевский, не располагая в свое время современными алгоритмами для анализа, видел только 11-летний период. В некоторых случаях удается обнаружить и более длительные периоды. Для перечисленных выше заболеваний присутствует еще период $14,5 \pm 0,5$ года.

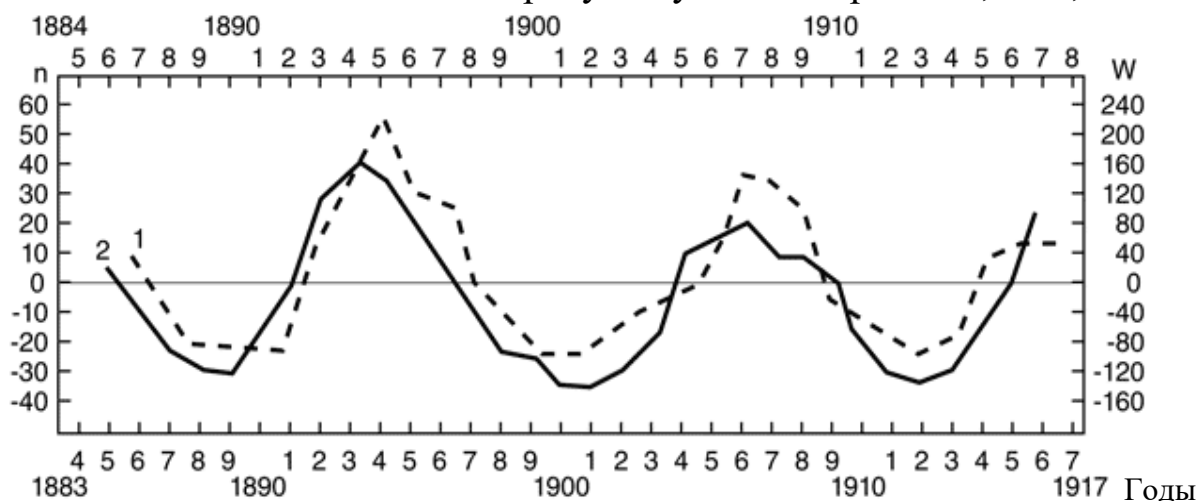


Рис. 1.10. Сопоставление заболеваемости возвратным тифом (1) (Москва, 1883 – 1918 гг., пунктир) с числами Вольфа (2) (А. Л. Чижевский, Россия)

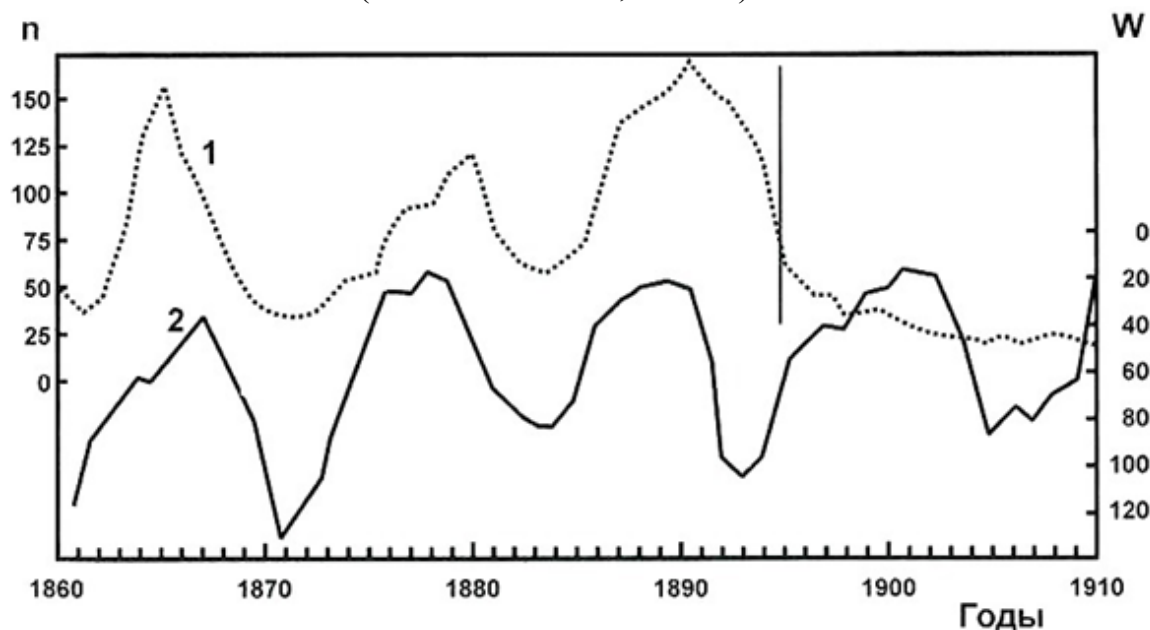


Рис. 1.11. Сопоставление смертности от дифтерии в городах Дании (1860 – 1911 гг.) (1) и чисел Вольфа (2) (кривая перевернута, шкала справа). Вертикальная черта – введение серотерапии в 1894 г. (А. Л. Чижевский, Россия)

Такого периода в солнечной цикличности нет, возможно, это 2/3 от фундаментального солнечного периода 22 года. Кстати, этот последний представлен в вариациях заболеваемости – смертности от скарлатины, одновременно с периодом, открытым первоначально в вариациях климата – около 35 лет (так называемый Брикнеров цикл климатологов).

Присутствие одинаковых периодов в динамике различных заболеваний вовсе не означает, что эпидемии не отличаются друг от друга.

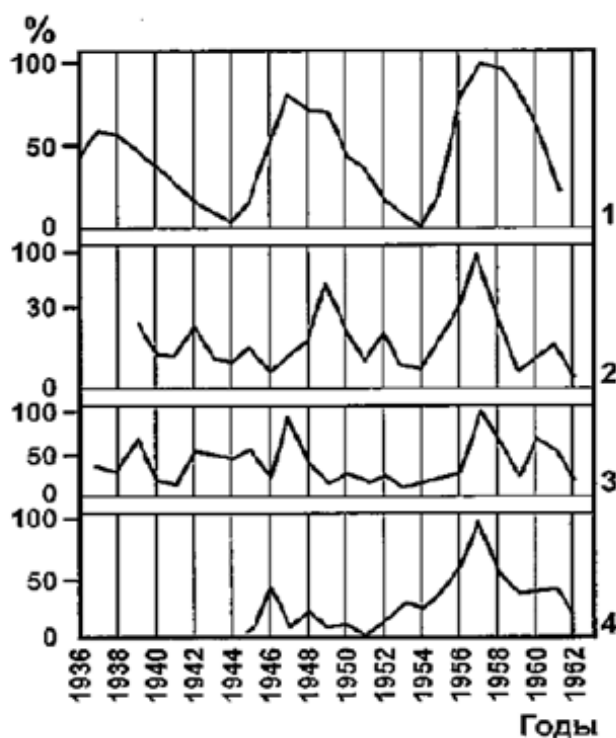


Рис. 1.12. Зависимости заболеваемости клещевым энцефалитом (процент к 1975 г.) в Приморском крае (2), Хабаровском крае (3) и Свердловской области (4) и чисел Вольфа (1) (В. Н. Ягодинский, Россия)

Для разных заболеваний, разных географических областей упомянутые периоды представлены разными амплитудами и разными фазами (рис. 1.12).

Можно еще раз напомнить, что это явление представляет собой автоколебания в системе «возбудитель – иммунитет – переносчик». Они распространяются из некоторого очага по неоднородной среде. В современной теории колебаний имеется модель такого процесса – так называемые автоволны.

Если для данной территории и данного заболевания удастся проследить ритмику эпидемий на протяжении ка-

кого-то интервала времени, то возможен прогноз хода заболеваемости. Такие прогнозы не раз делались и неплохо оправдывались, но редко принимались всерьез. На рис. 1.13 показан пример такого прогноза для пандемий гриппа, сделанный в середине 1960-х гг. Кажется, на него тоже не обратили внимания. Долгое время солнечно-биосферные связи рассматривались как странные и экзотические спекуляции узкой группы сектантов – последователей А. Л. Чижевского. Большинство медиков их просто проигнорировало.

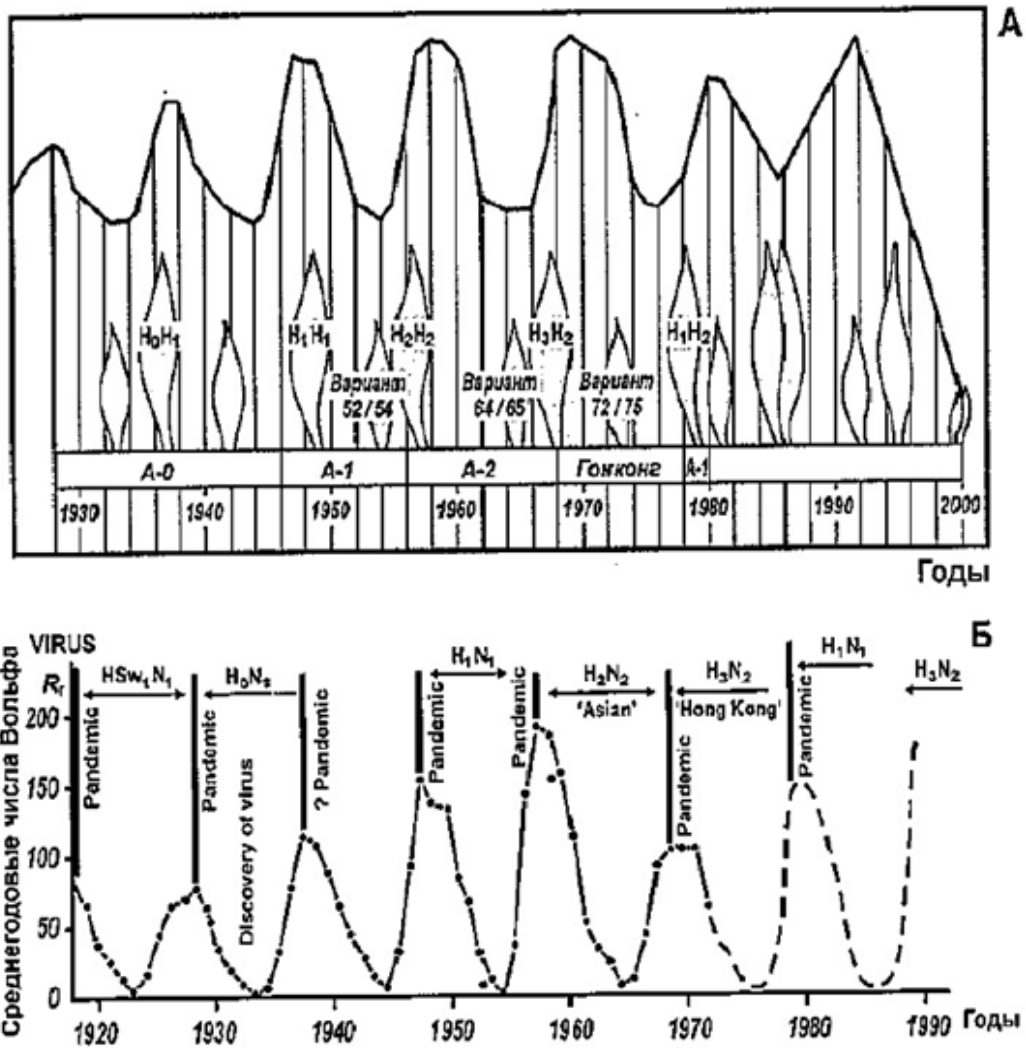


Рис. 1.13. А – Периодичность изменений свойств вируса и пандемий гриппа и их прогноза, сделанного в середине 1960-х гг. (верхняя огибающая – числа Вольфа). По горизонтальной оси – годы. (В. Н. Ягодинский, Ю. В. Александров, Россия). Б – периодичность изменения вируса гриппа и пандемий гриппа в Европе. Вертикальные линии – максимумы пандемий. (Хоуп-Симпсон, Хойл-Викрамансингх, Великобритания)

Понятно, что во многих случаях возможен однотипный прогноз и других явлений, обладающих простой макроритмикой. Примером могут быть вспышки массовых размножений насекомых. На рис. 1.14 показан график циклов массовых размножений саранчи-шистоцерки, построенный известным российским энтомологом Н. С. Щербиновским. Он успешно предсказал на основе прогнозов солнечной активности колоссальные вспышки размножения этих насекомых во второй половине XX в.

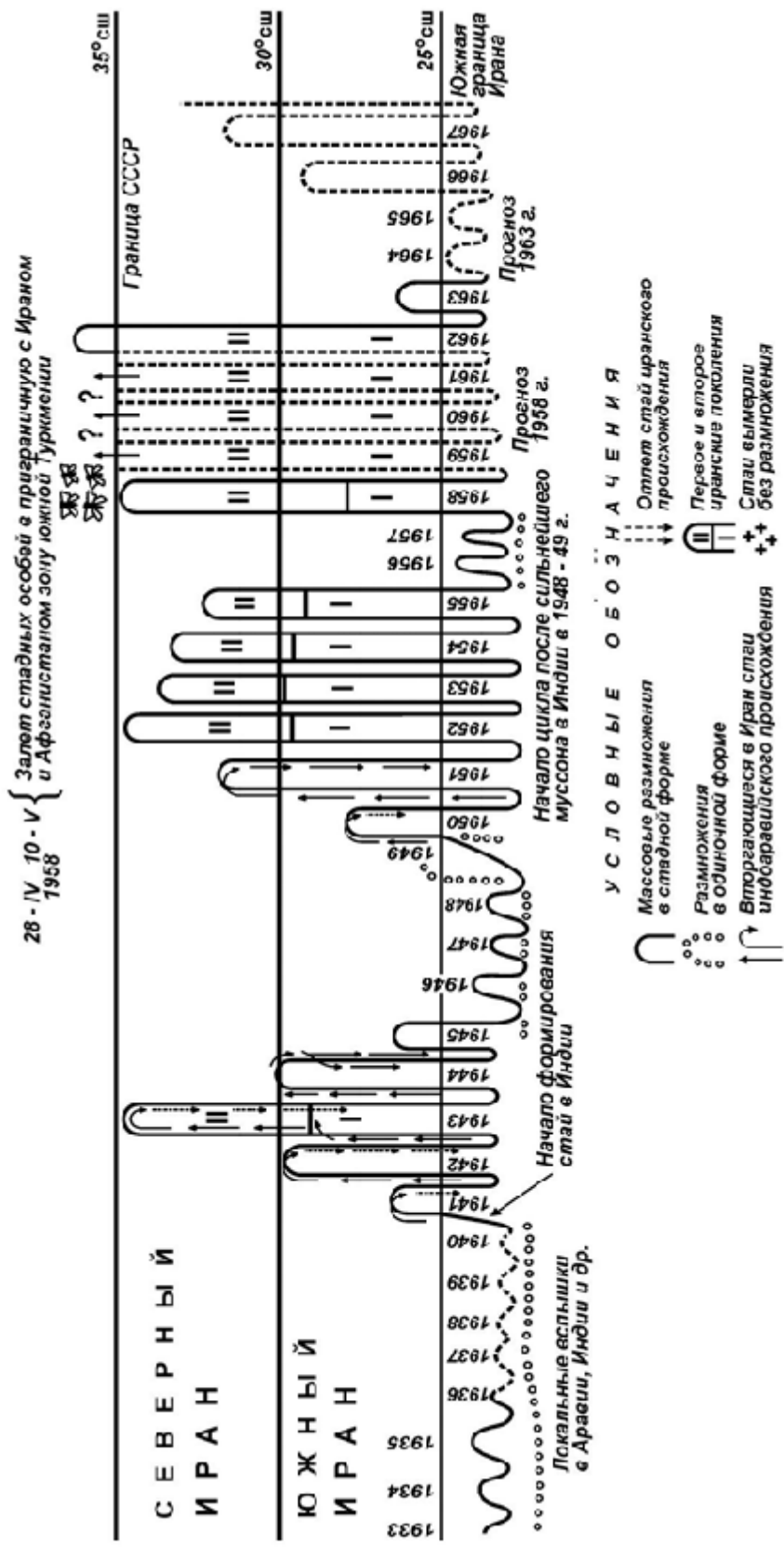


Рис. 1.14. Циклы массовых размножений саранчи-пшистоцерки в XX веке. По горизонтали – годы; по вертикали – географическая широта. Вертикальные столбики обозначают дальность миграции по широте. Данные после 1950 г. представляют собой оправдавшийся прогноз. (Н. С. Щербиновский, Россия)

Итак, при сопоставлении биологической ритмики отдельных организмов и их сообществ-биоценозов с кос-

мическими ритмами выясняется, что они очень похожи либо совпадают. Такое сходство отчасти возникает по причинам: какой-то агент внешней среды влияет, организм реагирует; если свойства агента изменяются периодически, в биологических показателях эта цикличность отражается – это экзогенные ритмы. Очень часто космическая ритмика проникает в биологические процессы еще по одной причине: «биологические часы» подстраиваются под ритмику среды обитания, но вся эта ритмика в конечном итоге солнечного происхождения. Космические ритмы являются датчиками времени, синхронизаторами биологических ритмов.

1.3. Физиология биологических часов в живых организмах.

Природа и механизм работы биологических часов.

Возможности управления биологическими часами

1.3.1. Местоположение биологических часов в живых организмах

Как показали исследования ряда ученых, биологические часы существуют в каждой клетке живого организма, в качестве доказательства приводятся факты, свидетельствующие о наличии суточной периодичности у одноклеточных водорослей. Отсутствие же биологических часов у некоторых одноклеточных организмов ученые объясняют особенностями строения клетки. Они считают, что биологические часы свойственны тем клеткам, у которых ядро четко отграничено от цитоплазмы специальной мембраной. Такие клетки имеют две мембраны – наружную клеточную (оболочку) и внутреннюю ядерную. Их иногда называют «двухоболочечными» клетками. В отличие от них существуют «однооболочечные» организмы, у которых суточные ритмы не обнаружены, к их числу относятся различные бактерии, не имеющие четко отграниченного ядра.

Наличие биологических часов в каждой клетке живого организма в настоящее время не вызывает сомнений. Не выяснен пока вопрос, каким образом взаимодействуют биологические часы всех клеток организма как целостной системы. Не до конца решены вопросы о том, что управляет ходом биологических часов всего организма.

На основании проведенных исследований ученые считают, что в многоклеточных живых организмах существует иерархия ритмов, при этом биологические часы отдельных клеток синхронизируются с суточными ритмами «ведущих клеток». В настоящее время основная задача ученых – обнаружить клетки, управляющие ритмом всего организма.

Замечательные работы провела в этом направлении английская исследовательница Ж. Харкер ещё в 1960 г. В тонких и остроумных опытах она определила у тараканов центры, управляющие их биологическими часами. Харкер выбрала таракана в качестве объекта своих исследований потому, что у него четко выраженная суточная двигательная активность, которая сохраняется при нарушении условий освещения в течение нескольких дней. Кроме того, таракан легко переносит лабораторные условия, неприхотлив в еде (может питаться чем угодно) и отдельные части его относительно слабо развитой центральной нервной системы имеют хорошо выраженную автономию. Так, обезглавленный таракан может прожить несколько дней, бегая и расходуя имеющиеся у него запасы энергии.

Смысл экспериментов Харкер заключался в том, чтобы выявить орган таракана, из которого поступает в кровь вещество, стимулирующее суточную двигательную активность. Она последовательно удалила один за другим все эндокринные органы, проверяя при этом действие биологических часов таракана.

В результате напряженной работы Харкер удалось обнаружить у таракана орган, от которого зависело возникновение суточной периодичности движений. Им оказался подглоточный ганглий, расположенных под пищеводом таракана. Размер этого органа очень мал, поэтому увидеть его можно было только под микроскопом. Харкер потратила почти три года на прижигание мельчайших участков подглоточного ганглия, пока она нашла четыре нейросекреторные клетки, играющие важную роль в поддержании ритма двигательной активности. Пересаживая эти клетки в кровотоки других тараканов, она смогла убедиться в том, что именно данные клетки ответственны за выделение гормона в определенные промежутки времени. Зная, где находятся биологические часы у таракана, исследовательница продолжала выяснять, что заставляет их работать, каков механизм, регулирующий ход ритма.

Один из способов, позволяющих узнать, как работает механизм, — разладить его деятельность. В данном случае необходимо было найти физиологический способ нарушения хода биологических часов. Харкер нашла такой способ. Она подвергла таракана одновременному воздействию двух биологических часов, не совпадающих друг с другом по времени. Эксперимент был длительным и состоял из трех этапов. На первом этапе исследований к таракану с разлаженным суточным ритмом был прикреплен другой таракан, имеющий нормальный суточный ритм. Связь между ними осуществлялась через кровоток. В этом случае таракану был навязан суточный ритм партнера.

На втором этапе исследований была проведена пересадка подглоточного ганглия обезглавленному таракану от нормального таракана. В проведенном эксперименте у обезглавленного таракана появился нормальный ритм, который сохранялся в течение нескольких дней.

Третий этап исследований состоял в пересадке таракану с кембриджским временем «часовых» клеток таракана с новозеландским временем. В результате такого эксперимента у кембриджского таракана был разлажен ход биологических часов, после чего в его кишечнике развилась опухоль, и он погиб.

Таким образом, Харкер в своих экспериментах не только определила местоположение биологических часов у таракана, но и показала, что происходит с ним при сбившемся ритме биологических часов. Ни у каких других видов животных и насекомых, кроме таракана, местоположение биологических часов пока не обнаружено, хотя ученые, работающие с млекопитающими, уже вплотную подошли к решению этой задачи.

В настоящее время учеными установлено, что растения не имеют центральных механизмов, управляющих всеми суточными ритмами. Это было показано на простых экспериментах, в которых путем изменения освещения у двух соседних листьев создавались различные ритмы.

Что же касается высших позвоночных животных и человека, поиски центров управления биологическими часами у них продолжают-ся. В этом направлении сделано много. Так, американский ученый К. Рихтер еще в 1960 г. высказал предположение о существовании у человека трех типов биологических часов: центральных, гомеостатических и периферических. Центральные часы расположены в таламу-

се, гипоталамусе, ретикулярной формации и в задней доле гипофиза. Гомеостатические часы имеют непосредственное отношение к гипоталамусу и связаны с различными железами внутренней секреции. Периферические часы находятся в разных тканях и независимы от центральных часов.

Согласно Рихтеру центр управления биологическими часами человека расположен не в коре головного мозга. Это обстоятельство он объясняет тем, что зависимость от коры мозга придавала бы суточным ритмам физиологических процессов все основные черты условных рефлексов. Действительно, влияние коры головного мозга на суточные ритмы человека ограничено. Даже при отсутствии обоих полушарий суточная периодичность различных физиологических процессов, в частности ритма сна и бодрствования, сохраняется, поэтому центр управления биологическими часами человека, надо полагать, находится под полушариями. Биологические часы наиболее устойчивы к случайным изменениям во внешней среде, что важно для сохранения суточного ритма. Кроме того, разделение функций между корой и нижележащими участками мозга имеет большое приспособительное значение, позволяющее освободить кору от управления множеством внутренних процессов и создать тем самым условия для приспособления организма к изменениям внешней среды.

Гипоталамус имеет непосредственное отношение к управлению суточным ритмом. В нем находятся центры, управляющие температурой тела, работой желез внутренней секреции, а также углеводным, водно-солевым и жировым обменом. Управление суточной периодичностью наиболее четко проявляется в деятельности температурного и водно-солевого центров. Об этом свидетельствуют многочисленные исследования, проведенные на людях. Работа этих центров осуществляется так называемыми субцентрами с помощью различных способов. Так, например, температурный центр через один из субцентров регулирует температуру при помощи физических процессов, изменяя интенсивность потоотделения и дыхания; просвет сосудов через другой субцентр – путем химических процессов усиливает обмен веществ при понижении температуры крови.

С помощью гипоталамуса в организме человека регулируются ритмы многих процессов, например ритм содержания эозинофилов и других клеток в крови.

Гомеостатические часы, как уже говорилось ранее, связаны с работой гипоталамуса. Они управляются нервными центрами гипоталамуса через гипофиз, и в их деятельности наиболее полно представлен принцип обратной связи. Принцип работы соответствующих центров заключается в том, что возбуждение возникает в них в результате недостатка специальных веществ в крови, а торможение – при их избытке. Возбуждение одного из центров гипоталамуса приводит к выработке нейросекрета, который заставляет клетки гипофиза вырабатывать гормон. Под его влиянием кора надпочечников выделяет вещество, тормозящее деление клеток костного мозга.

Периферические часы работают независимо от гипоталамуса, и в своей деятельности они не связаны ни с центральными, ни с гомеостатическими часами. В них роль главного метронома могут выполнять надпочечники. Они-то и создают суточный ритм выработки адреналина и норадреналина. Основная особенность периферических часов в том, что они позволяют длительное время сохранять положение фаз какого-либо физиологического ритма при нарушении нормального чередования света и темноты. Изменение фаз ритма в этом случае будет свидетельствовать о прямом или косвенном влиянии гипоталамуса на периферические часы.

В организме человека нет таких физиологических процессов, которые не зависели бы полностью от центральной нервной системы и от общего состояния организма. В работе периферических часов время от времени могут участвовать и центральные часы, которые по нервным путям будут регулировать ритм из гипоталамуса. В этом случае может происходить изменение местоположения центра биологических часов человека. Оно непосредственно связано с системой регуляции, с механизмом работы и природой биологических часов.

Тот факт, что в другом часовом поясе ход биологических часов перестраивается, свидетельствует об их условно-рефлекторной регуляции.

1.3.2. Природа и механизм работы биологических часов

Наблюдения ученых показали, что ритмические процессы в живых организмах имеют много общих черт. Это обстоятельство навело на мысль о том, что в основе всех процессов лежит единый внутриклеточный механизм часов. Он управляет всеми биологическими ча-

сами, присутствующими как в простых одноклеточных, так и в сложных высокоорганизованных живых организмах.

Живому организму необходимо измерять промежутки времени самой различной продолжительности и для разных целей. Так, каждое измерение скорости (например, при ориентации птиц во время перелета) связано с измерением времени; иногда с точностью до миллисекунд. Поэтому, как предполагают ученые, живой организм имеет целый набор биологических ритмов с различными периодами. Короткие (в тысячные доли секунды) периоды колебаний, возникающие на клеточном уровне, трансформируются в более длинные суточные ритмы отдельных органов и систем организма. В связи с этим механизм биологических часов можно сравнить с механизмом обычных часов. Подобно им биологические часы имеют механизм деления частоты аналогичный механизму зубчатых колес в часовом механизме. Точность хода механических часов обусловлена стабильностью частоты быстрых колебаний маятника. Пока часовая стрелка завершает суточный цикл, маятник часов выполняет множество колебаний. В биологических же часах по аналогии с механическими суточный цикл каких-либо физиологических функций осуществляется множеством элементарных внутриклеточных колебаний.

Как показали исследования ряда ученых (Ж. Гастингс, 1962 г., и др.), биологические часы измеряют абсолютное время. Об этом свидетельствуют циркадная (суточная) длительность циклов, сохраняющаяся при постоянных внешних факторах среды, а также несовпадение во времени фаз одного и того же процесса у представителей разных видов и разновидностей.

Среди некоторых ученых долго господствовало убеждение, что измерение времени в биологических часах основано на одиночных реакциях, т. е. на принципе песочных часов. Иными словами, предполагалось, что какой-либо стимул (например, восход Солнца или переваривание пищи) приводит в действие определенный биологический процесс, завершение которого отмечается сигналом, посылаемым в соответствующий орган. В качестве аналогии приводился такой процесс, как разряд конденсатора.

Однако, как стало известно в последнее время, у животных, растений и даже у самых примитивных одноклеточных организмов существует гораздо более совершенный способ измерения времени, ос-

нованный на циклических процессах в организме. Этот способ позволяет измерять время в организме на протяжении более длительного промежутка – до того момента, пока не появится фактор, способствующий определению времени в новом цикле.

Таким образом, стало очевидным, что в основе измерения времени лежат не одиночные, а цепные процессы и принцип их работы тот же, что и у маятниковых часов.

При изучении природы биологических часов важно было выяснить механизм возникновения первичных периодических процессов, определяющих ход внутриклеточных часов. Ученые проводили исследования в различных направлениях: определяли физический, химический, биологический и физиологический смыслы явлений, происходящих в клетках и тканях организма. Результаты исследований вызвали самые различные (в том числе и противоречивые) выводы. Так, мнение ученых о физической природе внутриклеточных часов основывалось на том, что длительность периода биологических ритмов очень мало зависит от температуры. Правда, можно предположить, что в этом случае идет взаимодействие химических процессов, обладающих различными температурными коэффициентами. Однако такое объяснение не очень хорошо согласуется с тем, что отсутствие температурной зависимости индивидуальных фаз цикла проявляется в одном и том же интервале температур – обычно между 10 и 30 °С.

В пользу физической природы биологических часов свидетельствует периодическое изменение состояния макромолекул. Экспериментально установлено, что у некоторых составных частей клетки (например, ядра) способность связывать воду периодически меняется. Это обусловлено внутриклеточными реакциями, обеспечивающими клетку энергией. Периодические колебания макромолекул поддерживаются за счет поступления очень небольшого количества энергии, что обеспечивает надежность и устойчивость работы внутриклеточных часов.

Кроме доказательств в пользу физической природы биологических часов, были получены экспериментальные данные, показывающие, что в клетках организма происходят и биохимические процессы, определяющие ход биологических часов. Многие биохимические процессы регулируются и имеют суточную периодичность. Особенностью таких биохимических процессов является то, что они не зави-

сят от температуры. Обычно же эти реакции непосредственно зависят от температуры. Это объясняется тем, что структура митохондрий и других субклеточных частиц прекрасно приспособлена к межмолекулярному и внутримолекулярному переносу энергии, обусловленному движением электронов. Таким образом, объяснение механизма работы внутриклеточных часов их биофизической природой, для которой характерна независимость процессов от температуры, не противоречит мысли и о биохимической природе часов.

Биохимическая природа биологических часов подтверждается большим экспериментальным материалом. Он свидетельствует о том, что работа биологических часов внутри клетки основана на чередовании напряжения и расслабления, т. е. на релаксационных колебаниях. Этими колебаниями управляет химическая энергия, от которой зависит фаза напряжения. Вследствие недостаточного снабжения клетки энергией процесс напряжения не достигает максимума, в связи с чем система не может удержаться на низком уровне и вновь возвращается в расслабленное состояние.

Периодические колебания биологических часов исследователи объясняют взаимной регуляцией внутриклеточных систем. Более наглядно процесс регуляции двух систем, соединенных между собой обратными связями, можно представить следующим образом. Предположим, что одна из систем вырабатывает какое-то вещество. Тогда другая система обуславливает исчезновение этого вещества из объединенной системы. Первая система начинает вырабатывать вещество лишь тогда, когда его содержание падает ниже определенного критического уровня. Вторая же система начинает разрушать это вещество в том случае, когда его содержание превысит верхний критический предел. В результате получится типичная гомеостатическая, самоподдерживающаяся система по отношению к данному веществу. При определенных условиях в результате инерционности, замедленности прохождения регуляционных сигналов содержание этого вещества будет все время оставаться на некотором гомеостатическом «среднем» уровне.

Таким образом, ритмический процесс колебаний в клетке возникает путем самоподдержания колебаний.

Каждая клетка, как и целостный организм, – самоподдерживающаяся система.

Ученые выдвигают различные гипотезы о природе самоподдержания ритмических колебаний в клетке. Американский исследователь Дж. Вильдер и большинство других ученых придерживаются мнения, что единственный принцип существования клетки – ритмический процесс, состоящий из «фаз положительной и отрицательной энтропии», энергетической перезарядки системы. Существование этого ритма колебаний энергии, как полагает ученый, и является тем основным началом в природе, которое позволяет отграничить живые организмы от хаоса неживой природы. По мнению ученых, самоподдерживающиеся ритмические колебания в клетке возникают благодаря смене фаз возбуждения и торможения. Вильдер объясняет эти процессы изменением направления движения ионов внутри клеток, а также колебанием потенциалов клеточных оболочек.

Процесс возникновения ритмических колебаний в клетке можно более наглядно представить на модели, предложенной Вильдером. Если два солевых раствора различной концентрации разделить полупроницаемой заряженной оболочкой и через них пропускать электрический ток, то в оболочке возникнут ритмические изменения потенциалов ее сопротивления и водонепроницаемости. В результате перераспределения анионов и катионов в клетках возникают процессы электрической перезарядки. В этом видят аналогию с биологическими часами.

Математическое и физическое моделирование механизма работы биологических часов проводили и другие исследователи – К. Клоттер, Р. Вевер, О. Шмит, Х. Калмус, Л. Уигглосуорс, Ч. Эрет и Дж. Барлоу.

Опыты американского ученого Ч. Эрета показали, что в механизме биологических часов принимают участие нуклеиновые кислоты. Свои исследования Эрет проводил с учетом биохимической и биофизической природы клетки. Он пришел к выводу, что основа процесса отсчета времени в клетке – очень длинные молекулы ДНК, названные им «хрономами». На разошедшихся нитях спирали ДНК строится информационная РНК. Длина ее соответствует длине одиночной нити ДНК. Одновременно в клетке протекает ряд взаимосвязанных химических реакций, соотношение скоростей которых можно рассматривать как работу регулирующего механизма часов. В качестве точного механизма отсчета времени выступают последовательно

происходящие реакции. Их строгое следование позволяет вести точный отсчет времени в широком диапазоне температур.

Интересна история возникновения у Эрета изложенной выше идеи работы внутриклеточных часов. Зная структуру молекулы в клетке, представленной английскими учеными Дж. Уотсоном и Ф. Криком в виде двойной спирали, Эрет стал сравнивать ее «образ» со всеми когда-либо существовавшими часами. Чтобы выяснить принцип работы биологических часов, ученый пытался представить себе их возможную форму. Логика решения задачи состояла в том, чтобы, рассмотрев созданные человеком приборы для измерения времени, подобрать хотя бы отдаленно похожий по форме на тот, который находится в клетке. Ч. Эрету пришлось собрать сведения о солнечных часах древних египтян, греческих водяных часах, маятниковых часах Галилея, а также о самых современных атомных часах. Были также рассмотрены песочные, гиревые, древние механические и даже цветочные часы.

Среди множества часов внимание ученого привлекли часы, сделанные еще в IX в. Это были часы-свеча – два спирально перевитых куска каната длиной 30 см, пропитанных смесью пчелиного воска и свечного сала. Горение кусков каната происходило с постоянной скоростью – 7,5 см/ч. Таким образом каждый канат сгорал за четыре часа. Время определялось по 12 отметкам на канате: каждая горела 20 мин. После сгорания одной свечи зажигалась следующая. За сутки сжигалось шесть свечей.

Сравнение часов-свечи с молекулой ДНК наглядно показало их внешнее сходство: форму спирали и периодическую структуру. У свечи периодичность заключалась в чередовании желтой и темно-коричневой полос воска, у молекулы ДНК – в повторении четырех веществ: аденина, гуанина, цитозина и тимина. Внешнее сходство часов-свечи и молекулы ДНК навело на мысль о том, что двойная спираль молекулы ДНК измеряет время. Однако, как показали дальнейшие исследования ряда ученых, механизм измерения времени молекулой ДНК, внешне похожий на работу свечи в часах, по своей сущности гораздо сложнее. Он предполагает включение в сферу его действия метаболизма нуклеиновых кислот. В работе внутриклеточных

часов, как показал эксперимент, принимает участие регулирующая система нуклеинового обмена.

Таким образом, Эрст определил первичную структуру внутриклеточных часов, расположенную в комплексе ДНК, информационной РНК.

Гипотезу химического механизма биологических часов высказал американский исследователь С. Хендрикс в 1963 г. В своей гипотезе Хендрикс приводит четыре типа химических реакций, которые могут обеспечить измерение времени в биологических часах. К первой группе он относит химические реакции, скорость которых определяется так называемым ключевым веществом. Примером могут служить взаимоотношения никотинамида, позволяющие ограничивать скорость и объем различных окислительно-восстановительных реакций. Вторая группа включает такие реакции, у которых скорость регулируется количеством конечного продукта. Так, например, подавление действия соответствующих ферментов автоматически снижает накопление гистидина в клетке бактерий. К третьей группе химических реакций относятся процессы разблокировки синтеза ферментов, проходящие на уровне генов, т. е. синтеза молекул РНК, а к четвертой группе – химические реакции, которые связаны с образованием и регулированием количества гормонов.

Все четыре группы химических реакций рассматриваются с точки зрения скорости этих реакций. Конечный продукт реакции при его накоплении в результате обратных связей уменьшает начальную скорость реакции. В конечном итоге общее время химической реакции увеличивается (учитывается время, проходящее от начальной до конечной реакции).

Все рассмотренные выше гипотезы о природе и механизме работы биологических часов пока еще не дают исчерпывающего объяснения, а сама проблема познания природы часов живых организмов далека от полного экспериментального завершения.

Успехи изучения биологических часов на внутриклеточном уровне имеют большое значение для понимания различных биоритмических процессов в организме животных и человека. Большие заслуги в этом отношении принадлежат и советским ученым. Особо здесь следует отметить работы, связанные с изучением природы биологических часов, двух выдающихся советских ученых – Д. А. Саби-

нина и А. Н. Баха. Они первыми установили связь механизма внутриклеточных часов с нуклеиновыми кислотами и белками. В дальнейшем Сабинин продолжил изучение биологических часов на растениях и впервые предположил наличие связи между ритмичностью роста растений и обменом нуклеиновых кислот.

Для понимания природы и механизма работы биологических часов на уровне всего организма необходимо представить себе работу клеток какого-либо центра (или субцентра). Рассмотрим, например, работу клеток гипоталамуса, имеющего четко выраженную суточную периодичность.

С теоретической точки зрения существуют два варианта совместной деятельности клеток: все клетки работают либо синхронно (фазы колебаний у них совпадают), либо несинхронно (фазы не совпадают). При первом варианте суточные ритмы организма (их длительность и положение фаз) полностью повторяют циклы одновременного чередования фаз возбуждения и торможения центра управления биологическими часами – гипоталамуса. При втором – суточные ритмы представляют собой усреднение большого количества несинхронных ритмов.

Анализируя оба варианта совместной работы клеток центра (субцентра), в частности гипоталамуса, американский исследователь К. Рихтер пришел к выводу, что все клетки центра (гипоталамуса) в нормальных условиях функционируют между собой несинхронно, т. е. фазы колебаний у них не совпадают. Болезненные состояния приводят к синхронизации колебаний в клетках, что проявляется прежде всего в увеличении длительности циклов. Таким образом, шоковое состояние или травма организма синхронизируют колебания всех клеток, уменьшая фазовые сдвиги колебаний и изменяя циклическую продолжительность. В качестве примера Рихтер приводит работу клеток, продуцирующих синовиальную жидкость суставов. В нормальном состоянии они функционируют несинхронно и имеют 7 – 14-суточный цикл. Как только возникает заболевание, клетки начинают работать синхронно, фазовые сдвиги между колебаниями приближаются к нулю, а в суставах через каждые 5, 9, 11 и так далее суток возникает отечность (водянка суставов). В организме человека могут периодически возникать такие заболевания, как лей-

коцитоз, эозинофилоцитоз, повышение температуры тела, увеличение кислотности желудка и т. д.

Многие заболевания человека можно рассматривать с точки зрения изменений, связанных с перестройкой цикличности физиологических функций его организма, например, работы сердца, дыхания и т. д. Изменения ритма отдельных органов, так и всего организма в целом могут носить временный характер. В таком случае говорят, что организм имеет функциональные расстройства (это, прежде всего, относится к центральной нервной системе человека). К функциональным расстройствам в организме человека относится десинхроноз, возникающий в результате перелета человека через меридианы в восточном или западном направлении. К ним можно отнести и функциональные расстройства центральной нервной системы, возникающие при переутомлении, эмоциональных стрессах, систематическом нарушении режима труда и отдыха. Функциональные расстройства могут привести к временной бессоннице, ослаблению и вялости всего организма, повышенной возбудимости и нервозности. Однако стоит человеку войти в привычный нормальный ритм жизни, как нарушенная ритмичность функций организма восстанавливается.

Иное дело – заболевания, связанные с патологическими, необратимыми изменениями в организме человека.

В этом случае нарушенный ритм работы отдельных органов не восстанавливается.

Функциональные изменения в организме, например, учащение работы сердца, дыхания могут происходить не только при заболеваниях, но и в результате усиленной физической и умственной работы, эмоциональных напряжений, воздействии внешних неблагоприятных факторов: температуры, атмосферного давления, повышенной или пониженной влажности. Часто функциональные изменения в ритме отдельных органов человека при больших нагрузках могут быть во много раз выше нормы. Особенно это относится к спортсменам, у которых во время ответственных соревнований частота сердечных сокращений достигает 250 ударов в минуту (вместо 60 – 80 ударов в минуту в нормальном состоянии). Однако несмотря на такое резкое изменение ритма работы сердца, через короткий промежуток времени частота сердечных сокращений у здоровых людей полностью восстанавливается.

В организме человека при функциональных изменениях происходит саморегулирование биологических ритмов. В связи с этим возникает вопрос, нельзя ли производить преднамеренное регулирование состояния отдельных органов и систем организма, изменяя длительность их циклов в нужном направлении? Можно ли изменить суточную периодичность физиологических функций в организме человека?

1.3.3. Возможности управления биологическими часами

Живые организмы на протяжении тысячелетий приспосабливались к периодически изменяющимся факторам воздействия внешней среды, поэтому их биологические часы идут в соответствии с природными изменениями. Изучая биологические ритмы, исследователи предпринимали попытки выяснить, имеют ли живые организмы внутренние биологические часы, идущие независимо от внешних условий? Для этого организмы помещали в условия непрерывной темноты или постоянного освещения и наблюдали за ходом их внутренних часов. На многочисленном экспериментальном материале ученые убедились, что у живых организмов существуют внутренние биологические часы, независимые по своей природе от внешних условий.

Для познания природы и механизма работы биологических часов в живых организмах необходимо знать, насколько устойчив ход биологических часов при искусственном изменении внешних факторов воздействия (например, при чередовании света и темноты). В начале исследования проводились на растениях. Было установлено, что в условиях непрерывного освещения ярким светом многие биологические ритмы постепенно исчезают. Немецкий исследователь Э. Бюннинг еще в 1931 г. показал это на примере суточного движения листьев фасоли. Листья растения, привыкшего к нормальному чередованию дня и ночи, в непрерывной темноте сохраняли свое суточное движение. Однако в условиях непрерывного яркого освещения листья переставали двигаться. Такие же результаты дали наблюдения и над различными ритмами других организмов.

Что же является причиной исчезновения видимого суточного ритма у растения при непрерывном ярком освещении – потеря синхронности в работе клеток или же потеря ритма каждой клеткой в отдельности? Этот вопрос изучала американская исследовательница

Б. Суини на одноклеточной морской водоросли, так как у нее обнаружено сразу несколько ритмов клеточного деления, люминесценции и суточного фотосинтеза. При исследовании работы биологических часов у водоросли использовались уже хорошо изученные биохимические реакции.

Суини установила, что в суспензии клеток водоросли, долго освещаемой ярким светом, все ритмы исчезают, хотя растение продолжает размножаться. Одиночные клетки водоросли сохраняли ритмы, которые свойственны водоросли в целом.

Дальнейшие исследования ритма движения листьев у некоторых растений показали, что действие яркого света может не только подавлять их ритм, но и преобразовывать его. Были установлены некоторые закономерности движения листьев в зависимости от длительности освещения. Так, например, обычный 28-часовой цикл уменьшали до 18 часов (темновой и световой периоды цикла делали равными).

Как показали опыты, растение усвоило 18-часовой цикл. Однако после помещения его в темноту 28-часовой цикл вновь восстановился. Экспериментально было определено, что фазы цикла фасоли можно сместить на 2 – 8 часов. Ритм движения листьев легко переводился на 20 – 22- и 24-часовой цикл при равном чередовании периодов света и темноты.

В экспериментах Бюннингу не удалось надолго навязать растениям не свойственные им циклы движения листьев даже тогда, когда материнское растение, а потом и рассада содержались в необычных условиях освещения. В тех же случаях, когда циклы делались короче 18 часов (например, 16 или 14 часов), растение не реагировало на новое воздействие светом и сохраняло прежний 28-часовой цикл.

Бюннинг обнаружил, что растение не имеет ритмов движения листьев, если оно выросло в полной темноте и при постоянной температуре. Однако воздействие одиночного раздражения, например, кратковременного освещения, вызывало у растения присущий ему 28-часовой цикл. И наоборот, если растение выращивалось на свету, то для пуска биологических часов его необходимо было выдержать в темноте на протяжении 9 – 10 часов (прерывистое воздействие темноты такой же длительности не вызывало ритма движения листьев).

Одиночным раздражителем, запускающим ход биологических часов растений, служило суточное изменение температуры в пределах

от 25 до 30 °С (даже в том случае, если растение находилось в непрерывной темноте или при постоянном освещении).

Механизм внешнего раздражения, запускающего биологические часы, как полагает Бюннинг, заключается в том, что он синхронизирует ритмы в разных клетках растения, т. е. создает условия для совпадения фаз колебаний в клетках.

Растения не имеют центра управления их биологическими ритмами, поэтому каждому листу путем навязывания новых световых и темновых периодов можно придать свой ритм движения, независимый от движения других листьев. Восстановить их прежний синхронный ритм можно при помощи одиночного воздействия сильным светом. Полное восстановление наступает обычно через 17 часов после воздействия светом. В этот момент ритм движения листьев наиболее выражен. Внешне он проявляется в максимальном опускании листьев. Это будет повторяться ровно через сутки, а затем через двое суток. Растение как бы «запоминает» наибольшую реакцию на свет.

Опыты показали, что эффект управления биологическими ритмами растения зависит от разницы в освещенности во время световой и темновой фазы воздействия. Наибольший результат достигается, если в темновой фазе полная темнота, а в световой – яркий свет (освещенность в 200 лк).

Изучение управления ритмами растений проводилось не только при помощи световых воздействий, но и при изменении температуры окружающей среды. С этой целью растения выращивались при постоянной температуре и естественном ритме света и темноты, после чего их содержали при различных температурах. Было установлено, что с повышением температуры биологические часы растений начинали спешить. Это выражалось в уменьшении длительности циклов. Так, при 20 °С цикл был равен 27 часам, при 25 °С – 23,7 часа, при 30 °С – 22 и при 35 °С – 19 часам.

Однако растения обладают хорошей способностью приспособивать свои внутренние часы к изменениям температуры, если они содержатся при различных температурах достаточно длительный период времени. Например, 28-часовой суточный ритм движения листьев растений сохраняется при 20, 25 и 30 °С. Такое приспособивание биологических часов растений к различным температурам окружающей среды объясняется процессами саморегулирования. Рассматривая принципы управления биологическими ритмами у растений, можно

понять некоторые общие закономерности управления ритмическими процессами у живых организмов.

Продолжением исследований было изучение суточных ритмов у животных при воздействии светом, звуком, изменением температуры. Наиболее значительными в этом направлении считаются работы американской исследовательницы П. Де Курси.

В качестве объекта для своих исследований она выбрала белку-летягу. Выбор был не случаен. Белки-летяги, как и многие другие ночные животные, начинали активную жизнь с заходом солнца и прекращали ее с рассветом, ежедневно возвращаясь в гнездо. Сначала изучение закономерностей суточной активности белок-летяг проводилось в естественных условиях. Исследование воздействия искусственно измененных внешних условий проходило в специально отведенном для этого помещении с хорошей звукоизоляцией, регулировкой температуры и автоматической системой освещения, которая обеспечивала заданные диапазоны чередования света и темноты. В помещении были установлены прогулочные клетки и вращающиеся клетки-колеса, в которых белки могли бегать. Каждая клетка соединялась с автоматическим регистрирующим устройством, фиксирующим все движения белки. Полученные графики позволяли определить точное время начала двигательной активности белки.

Как показал анализ результатов исследований, активность белок закономерно изменялась с течением времени. Было отмечено возрастание активности с наступлением сумерек и уменьшение – с рассветом. В опытах на белках-летягах исследовательница обнаружила, что в полной непрерывной темноте у белки сохранялся суточный ритм активности. Несмотря на индивидуальные различия, суточный цикл каждого животного имел высокую стабильность (его отклонения не превышали нескольких минут).

Продолжая опыты, Де Курси выясняла воздействие искусственных циклов на естественный суточный цикл. Для этого она использовала в своих опытах белок-летяг с естественным суточным циклом меньше и больше 24 часов. Предварительно белки помещались на несколько дней в постоянную темноту: у животных с естественным суточным циклом меньше 24 часов начало активности все время сдвигалось вперед, т. е. биологические часы этих животных

спешили. У белок с естественным суточным циклом больше 24 часов биологические часы все время отставали.

После темноты давалось 24-часовое воздействие с равными световым и темновым периодами. Это воздействие привело к перестройке свободно текущего ритма. У белок с меньшим суточным циклом начало активности стало сдвигаться в сторону запаздывания до тех пор, пока не достигло постоянного значения на протяжении всего чередования света и темноты. У белок с суточным циклом больше 24 часов, усвоивших новый цикл чередования света и темноты, начало активности стало наступать раньше.

В дальнейшем, завершая эксперимент, исследовательница вновь возвратила белок в условия постоянной темноты. В результате у всех животных восстановились естественные циклы.

Следующую серию экспериментов Де Курси провела с использованием кратковременных вспышек света. Она исследовала изменение длительности естественного суточного цикла белки при воздействии кратковременным светом, подаваемым в различные фазы цикла. Для этого она рассчитала время опережения естественного цикла (для белок с суточным циклом меньше 24 часов). В определенный момент один раз в сутки на 40 минут включался свет (слабая лампочка), фиксировалось начало активности белки. Полученный результат сравнивался с ожидаемым по расчету. Различие между ожидаемым и действительным временем начала активности белки показывало сдвиг фазы.

Оказалось, что кратковременный свет сдвигает начало активности белки лишь в определенный промежуток времени свободно текущего цикла. В остальные промежутки времени сдвиг начала активности не наблюдался.

Как показал эксперимент, сдвиг фазы активности белки (и всего цикла) зависит от того, на какое время суток приходится воздействие кратковременного света. Включение света во время наибольшей активности белки (в ночное время) приводило к значительному уменьшению сдвига активности по сравнению с тем случаем, когда кратковременный свет подавался непосредственно перед началом активного периода. Воздействие же света в то время, когда белка находилась в неактивном состоянии (днем), вообще не оказывало влияния на сдвиг (рис. 1.15).

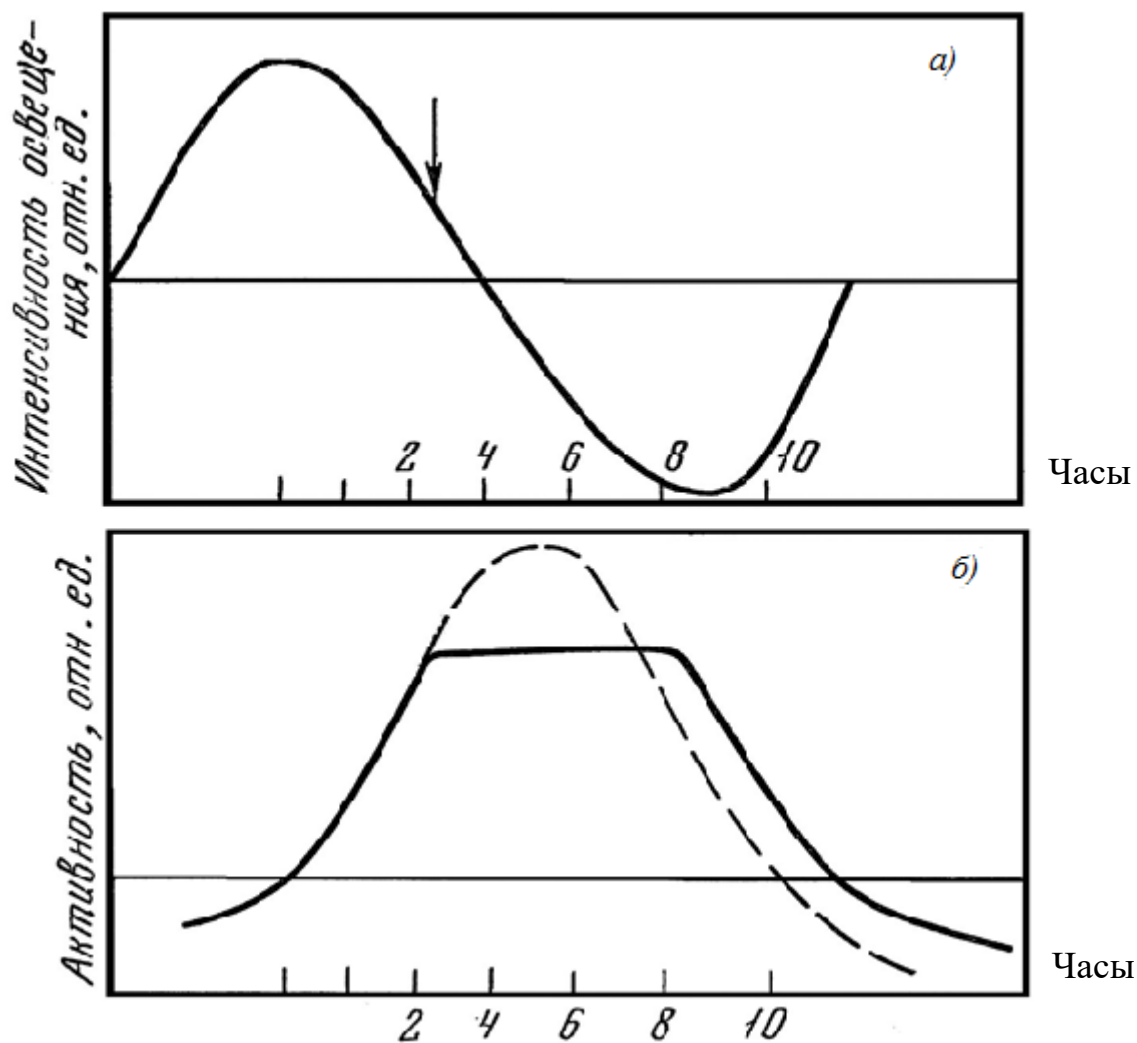


Рис. 1.15. Зависимость сдвига фазы активности у белки-летяги при воздействии кратковременным светом: а – суточное изменение освещенности; б – фазовый сдвиг активности. Стрелкой отмечен момент стимуляции светом

Эксперименты на белках-летягах помогли понять механизм перестройки периода активности у животных, живущих на воле. Перестройки циклов происходят, вероятно, в результате синхронизации их внутренних биологических часов с внешними световыми циклами. Дальнейшие эксперименты по изменению суточного цикла белки не дали результатов: ни температура, ни звук не оказывали воздействия на начало ее активности.

Аналогичные исследования изменения суточного цикла при световых воздействиях проводились учеными и на других животных. Объектом были мыши и хомяки. В опытах на мышах изменялись периоды активности под влиянием длительного и кратковременного

освещения в различные периоды суточного цикла. Так же как и белку-летягу, мышь помещали во вращающееся колесо. Экспериментатор фиксировал время двигательной активности мыши в искусственных световых условиях. Оказалось, что при внезапном переходе от светового периода к темновому и, наоборот, от темнового к световому длительность циклов суточного ритма активности и покоя изменялась не более чем на три часа. При постепенном же изменении освещенности, наоборот, естественный суточный цикл мыши (он в среднем равен 22 часам 50 минутам) удалось подчинить 16-часовому искусственному циклу с равными темновыми и световыми периодами. Постепенный переход освещенности в эксперименте имитирует сумерки и рассвет в естественных условиях. Они-то в естественных условиях и управляют двигательной активностью мышей.

В опытах на хомяках было установлено, что у этих животных перестройка периода активности при кратковременных воздействиях светом происходит не так быстро, как у мышей и белок. На протяжении трех дней у них появляются неустойчивые (транзитные) периоды, а затем возникает новый устойчивый период активности.

Интересные исследования провел Ю. Ашофф по определению зависимости длительности периода активности зяблика от интенсивности освещения. Изменяя яркость света в световом периоде естественного цикла зяблика, ученый установил, что длительность периода активности зяблика (световой период) уменьшалась с увеличением яркости света и, наоборот, увеличивалась с уменьшением яркости.

Многочисленные эксперименты позволили Ашоффу обобщить опыт по управлению периодом активности у животных при помощи изменения интенсивности освещения и создать гипотезу, известную под названием «правило Ашоффа». Согласно гипотезе с увеличением интенсивности постоянного освещения длительность активности дневных животных сокращается, а ночных – увеличивается. В связи с этим для всех дневных животных естественный суточный цикл имеет больший период при слабом освещении и меньший – при ярком. В своих экспериментах на зябликах Ашофф показал, что «стрелки» внутренних часов зяблика удается переводить, изменяя режим освещения: их ход можно ускорять или замедлять по желанию экспериментатора.

Основываясь на результатах исследований управления ходом внутренних часов у животных, Ашофф решил проверить возможность применения своего «правила» на человеке. Для этого он попытался изменить суточный 24-часовой цикл сна и бодрствования у человека на 28-часовой с периодами для активного состояния – 19 часов, для сна – 9 часов. Эксперимент проводился в 1938 г. в одном из отсеков Мамонтовой пещеры в Кентукки. Двое испытуемых – Н. Клейтман, американский специалист в области физиологии сна, и Б. Ричардсон, студент из Чикагского университета, закрывшись в пещере, полностью изолировали себя от окружающего мира. Слабый свет в течение 19-часового периода активного состояния позволил перевести внутренние часы у Ричардсона на 28-часовой цикл. Период перестройки его суточного цикла занял две недели. У Клейтмана за две недели так и не удалось перестроить суточный цикл (вероятно, это объясняется тем, что Клейтман был старше Ричардсона на 20 лет).

Дальнейшие эксперименты Ашофф связал с определением длительности естественного суточного цикла у человека при изменении интенсивности освещения. Ранее упоминалось об этих экспериментах, направленных на определение эндогенной природы суточных циклов человека. В проведенных экспериментах попутно определялась возможность искусственного изменения суточных циклов. Как говорилось ранее, Ашоффу удалось путем регулирования интенсивности освещения изменить естественный период активности человека от 19 до 25,6 часа.

Подобные эксперименты проводили и другие исследователи. Так, в опытах американского ученого Г. Шарпа обычный суточный ритм бодрствования и сна смещался на 12 часов путем изменения чередования светового и темного периодов. Г. Шарп изменял 24-часовой суточный цикл человека в пределах от 21 до 27 часов.

Интересны в экспериментах Г. Шарпа его наблюдения за изменением суточной температуры тела человека при смещении периодов сна и бодрствования. Нормальный суточный ритм температуры тела, соответствующий новому распорядку жизни и освещения при смещении периодов сна и бодрствования на 12 часов, устанавливался лишь на 4-е сутки. При изменении 24-часового суточного цикла человека на 21 – 27-часовой цикл суточный ритм температуры устанавливался в течение одних суток. Ритм света и темноты – единственный раздра-

житель, способный выработать у человека (и у животных) суточный ритм изменения температуры тела. При отсутствии ритма света и темноты может наступить разрыв (десинхронизация) между биологическими и геофизическими ритмами. Такое явление наблюдается у людей в условиях полярной ночи, когда происходит уменьшение амплитуды ритмов в организме, а иногда даже и их полное исчезновение. В условиях непрерывного летнего дня это проявляется в меньшей степени, поэтому непрерывный полярный день для людей (а также и для дневных животных) менее вреден, чем непрерывная ночь.

Необычный внешний ритм вызывает у человека диссоциацию физиологических ритмов. Чередование светового и темного периодов, неблагоприятных для человека в физиологическом отношении, может привести к возникновению переходных циклов, которые в условиях непрерывной темноты или света сменяются циркадными. Появление переходных циклов в организме человека свидетельствует о самокомпенсации процессов в работе его биологических часов. Чем больше в организме самокомпенсация, тем труднее перестройка его биологических часов на новый цикл. Вероятно, по этой причине ритмы более высокоразвитых организмов труднее поддаются искусственной перестройке, у них более ограничены возможности экспериментального изменения длительности суточных циклов.

Исследования показали, что все закономерности перестройки ритмов организма при световых воздействиях в различные периоды суточного цикла, выявленные на животных, обнаружены и у человека. Механизм перестройки биологических ритмов организма у животных и у человека один и тот же.

Что же собой представляет механизм перестройки ритмов организма? Какова его природа?

На этот вопрос сразу ответить трудно. Существует ряд гипотез, одна из которых, предложенная немецким ученым Э. Бюннингом, наиболее убедительна. В ней процесс возникновения ритмических колебаний в живых организмах рассматривается как последовательное чередование процессов напряжения и расслабления. Такая трактовка работы биологических часов дает возможность понять, как происходит регулирование хода часов путем изменения факторов воздействия, в частности света и температуры.

Предположим, что действие внешнего фактора (световая вспышка во время темного периода или достаточно высокая температура) накладывается на фазу напряжения. В результате такого взаимодействия напряжение становится большим по сравнению с его величиной в норме, т. е. без воздействия внешних факторов. В результате фаза напряжения несколько удлиняется (до 1 – 2 часов). При повторении воздействия на протяжении нескольких дней процесс регулирования также повторяется до тех пор, пока фактор не перестанет влиять на фазу напряжений. В связи с этим фазы будут наступать на несколько часов позднее. Биологические часы начнут отставать.

В том случае, если свет или высокая температура действуют на фазу расслабления, эта фаза начинает отставать и не доходит до конца. Таким образом, процесс расслабления задерживается (на 1 – 2 часа), что создает благоприятные условия для наступления следующей фазы напряжения. В результате наблюдается ускорение хода биологических часов.

Рассмотрим процессы, происходящие в живом организме при перестройке хода его биологических часов в результате ритмического воздействия внешних факторов (освещенности, температуры).

Ритмические процессы в организме, как известно, обуславливаются внутренними факторами. Они по своей природе эндогенны и определяются врожденными механизмами. Живой организм наследует основную колебательную систему, и эндогенный ритм может быть вызван неперiodическими сигналами. На его частоту и фазу могут влиять различные внешние факторы. В результате воздействия внешних ритмических процессов на внутренние процессы возникает явление затягивания. При этом процесс периодического изменения внешних воздействий (освещенности, температуры и других факторов) влияет на ритм в организме, изменяя его период, а во многих случаях делая равным периоду затягивающего цикла.

Между ритмом организма и затягивающим циклом устанавливается устойчивая разность фаз. Иначе говоря, внутренний ритм организма синхронизируется внешним сигналом, что уменьшает несинхронность ритмов в организме.

Термин «затягивание» для характеристики ритмических процессов в организме заимствован из физики, поскольку он характеризует синхронизацию физической автоколебательной системы внешним сигналом.

Существует множество различных типов затягивания. Для их характеристики, строго говоря, необходимо знать специфические черты колебательной системы и синхронизирующего сигнала. Однако для общего представления о процессе затягивания достаточно располагать обобщенными качественными характеристиками его особенностей. Одна из них заключается в том, что синхронизирующее воздействие передает колебательной системе (т. е. организму) сравнительно небольшое количество энергии. Величина затягивания определяется силой синхронизирующего сигнала, типом связи между сигналом и колебательной системой.

Встречаются два вида связи: непосредственная и косвенная. Примером непосредственной связи может служить воздействие переменного напряжения на электрический колебательный контур. Косвенная связь проявляется при периодическом изменении величины какого-либо параметра электрического колебательного контура – индуктивности, емкости или сопротивления.

Две колебательные системы могут взаимно влиять друг на друга или оказывать одностороннее влияние. Во время затягивания частота колебательной системы равна частоте сигнала. Так, например, воздействие на циркадный цикл, равный 25 часам, более короткими циклами – 6, 8 и 12 часов – приводит к перестройке циркадного ритма на 24-часовой цикл.

Что дает изучение основных особенностей затягивания и с какой целью рассматривается затягивание физических колебаний? Как показала практика, изучение этого вопроса может дать представление о некоторых подробностях и деталях устройства основной колебательной системы организма. Рассмотрение же особенностей затягивания в физических системах позволяет более полно и глубоко понять явления затягивания, происходящие в различных системах организма человека. Использование физических колебательных систем объясняется тем, что они хорошо изучены, на них довольно легко проводить моделирование с определением параметров всех ее элементов.

Изучение процессов затягивания имеет большое значение для правильного воздействия на организм в целях перестройки его ритма в нужном направлении.

При изучении механизма затягивания внутренних ритмов организма внешними ритмическими воздействиями необходимо знать

особенности ритмов самого организма и ритмов внешних воздействий. Чаще всего в природе встречаются внешние факторы воздействия на ритмы – свет и температура. При постоянных условиях освещенности и температуры и отсутствии других внешних синхронизирующих воздействий можно говорить о периоде свободных колебаний системы. Циркадный (суточный) ритм имеет ряд особенностей. Он, как правило, близок к 24 часам (20 – 28 часов). Наиболее короткий период отмечен у морских водорослей и летучих мышей – приблизительно 20 часов. Наиболее длинный период у некоторых растений – 28 часов.

Длительность периода свободных колебаний очень мало зависит от температуры, при которой проводятся измерения. Как правило, она немного уменьшается при повышении температуры. Так, например, отношение длительности периода при данной температуре к длительности его при температуре на 10 °С выше лежит в пределах от 1,0 до 1,3.

Как показали наблюдения, ночные животные имеют бóльшую длину периода при постоянной освещенности, у дневных животных наблюдается обратная картина. Некоторое влияние на длину периода оказывают интенсивность света и длина его волны. Во всех этих случаях изменение периода составляет 5 – 10 %.

Процесс затягивания свободных ритмов организмов изучается при воздействии на них циркадных циклов, состоящих из чередования света (с постоянной интенсивностью) и темноты. Важным моментом является отношение светового и темнового периодов. В зависимости от длительности цикла соотношения светового и темнового периодов и скорости воздействия затягивание циклов организмов может происходить в разные промежутки времени. Так, например, однократное 12-часовое освещение может сдвинуть ритм активности хомяка на 10 часов за несколько дней, в то время как резкое изменение фазы на 12 часов в 24-часовом цикле чередования света и темноты (с равными промежутками) не может сдвинуть фазу ритма и за несколько недель. Эти два противоположных результата показывают, что фазу ритма можно значительно сдвинуть при воздействии единичным сигналом, но в результате устанавливается нестабильная фаза.

Циркадные ритмы организма могут затягиваться либо очень слабыми, либо очень короткими световыми сигналами, повторяющимися с 24-часовыми интервалами. В этом случае величина затягива-

ния зависит от того, насколько организм привык к темноте, а также от длительности светового воздействия.

Важно отметить, что 24-часовой цикл чередования света и темноты затягивает циркадный ритм, существенно не меняя его характер, если длина периода темноты достигает некоторой минимальной величины. Его значение для растений колеблется в пределах от 3 до 8 часов. Обычно минимальная длительность светового периода, необходимая для затягивания ритма, значительно меньше длины темнового периода.

Существенное влияние на процесс затягивания оказывает и сам цикл внешнего воздействия. Практически все ритмы могут затягиваться не только 24-часовым циклом.

Для каждого организма существуют определенные пределы отклонения затягивающего цикла от 24 часов. Внутри этих пределов затягивание не нарушается. Эти пределы принято называть пределами затягивания.

Для всех живых организмов существует общее правило: чем организм сложнее, тем труднее его ритмы поддаются затягиванию циклом, период которого намного отличается от 24-часового. Исследования американских ученых Н. Клейтмана, П. Льюиса, М. Лоббана показали, что организм человека с трудом поддается воздействию искусственного цикла короче или длиннее 24 часов.

Исследования американского ученого В. Брюса показали, что процесс затягивания изменяется при изменении соотношений светового и темнового периодов. При одном и том же периоде затягивающего цикла, но при различных соотношениях светового и темнового периодов новые ритмы, полученные в результате перестройки, имеют различный характер. Исключение составляет период 24-часового светового цикла, когда изменение соотношений светового и темнового периодов в очень широких пределах не нарушает затягивание ритма и даже мало влияет на его фазу при переходе от света к темноте и наоборот.

Однако совсем небольшое изменение периода светового цикла оказывает довольно большое влияние на степень затягивания и общий характер ритма. Так, например, у человека внутренние ритмы могут затягиваться только циклами, у которых световой период близок к 24 часам.

Сильное изменение отношения светового периода к темновому не нарушает затягивания ритмов. Но стоит немного изменить дли-

тельность светового периода, и сдвиг в соотношении светового и темного периодов резко скажется на характере затягивания. Бывают случаи, когда при менее продолжительном, но более частом воздействии фактора на организм ритмы лучше затягиваются. Так, ритмы хомяков, мышей и тараканов лучше затягиваются не непосредственным действием 26- и 28-часовых циклов, а 3-, 7- и 14-часовыми циклами.

Наряду со световыми ритмическими воздействиями на перестройку внутренних ритмов организма оказывают влияние и воздействия температурных циклов (рис. 1.16). Как показали многочисленные исследования, проведенные В. Брюсом, циркадные ритмы обычно подвергаются затягиванию 24-часовыми температурными циклами. Экспериментально установлено, что затягиванию температурными циклами поддаются не все циркадные ритмы. Например, биологические часы хомяков не перестраиваются 24-часовым температурным циклом. Сопоставляя действие на организм температурных и световых циклов, можно сделать вывод, что влияние высокой температуры соответствует влиянию светового периода, а низкая температура – темного. Постепенное или резкое повышение температуры может вызвать или восстановить ритм организма, а постепенное или резкое понижение температуры – сдвинуть фазу.

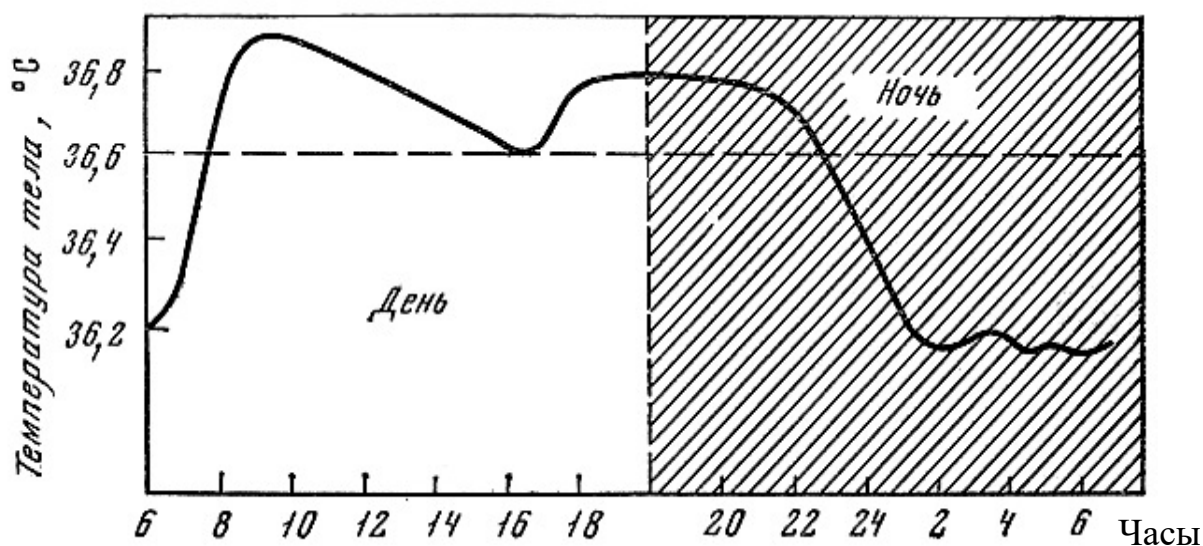


Рис. 1.16. Суточная кривая температуры тела человека

Исследования совместного действия на внутренние ритмы организма температурного и светового циклов позволили сделать вывод,

что комплексное воздействие на ритмы организма световым и температурным циклами создает значительно больший эффект перестройки ритмики организма, чем действие каждого фактора отдельно. Небольшие изменения в разности фаз между световым и температурным циклами приводят к большим изменениям в фазе циркадного ритма. Эксперименты по совместному действию температурного и светового циклов проводились в основном на тараканах и мухах-дрозофилах. Аналогичный резкий скачок в изменении фазы циркадного цикла у организма может также быть получен при воздействии единичного светового сигнала, совпадающего по времени с той или иной фазой состояния организма. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что световой сигнал, подаваемый в конце темного периода, вызывает положительный сдвиг фазы (опережение), в начале темного периода – отрицательный сдвиг фазы (запаздывание), а в середине темного периода – лишь небольшие сдвиги в обе стороны. Наблюдения, проведенные за млекопитающими, показали, что явление затягивания во всех описанных выше случаях сдвига фаз цикла при воздействии коротким световым сигналом имеет различный характер.

Так, процесс затягивания с наибольшим числом «переходных» периодов происходит обычно чаще при опережающей фазе (воздействие светом в конце темного периода), чем при отстающей фазе. Интенсивность же единичного светового сигнала и продолжительность его воздействия мало влияют на сдвиг фазы и характер затягивания.

1.3.4. Практическое использование управления биологическими ритмами в биологии

Биологические ритмы – условие нормальной жизнедеятельности процессов во всех живых организмах. Без них не могла бы существовать жизнь. Ритмы физиологических функций в организме человека позволяют осуществлять сложные жизненные процессы. Отсутствие же нормального взаимодействия биологических ритмов приводит к различным функциональным расстройствам (например, десинхронозу), а иногда и к заболеваниям.

В настоящее время в медицине возникло новое направление, новый подход к причинам заболеваний. Ряд ученых считают, что причина некоторых заболеваний – нарушение периодичности жизненных процессов, например, в работе сердца, легких, печени, почек, желудка и т. д.

Исследованиями нарушений цикличности функций в организме человека занимался немецкий психолог К. Рихтер. На протяжении многих десятилетий, начиная с 1919 г., он собрал большой клинический материал более чем о тысяче пациентов, страдающих различными заболеваниями костного мозга, желудка, двенадцатиперстной кишки, брюшины, почек, потовых и слюнных желез, лимфатических узлов, суставов, кожи, мозга и глаз. К числу циклических процессов, нарушения которых приводят к заболеваниям, он отнес и такие заболевания, как мигрень, эпилепсия и пептическая язва.

По мнению Рихтера, большинство заболеваний вначале не выглядят периодическими, а приобретают такой характер спустя многие месяцы и даже годы.

В настоящее время важное внимание в медицине уделяется вопросам ранней диагностики заболеваний. В арсенале современной науки уже имеется достаточное количество новых методов для распознавания ранних стадий заболеваний, таких, например, как рак, сердечные заболевания, атеросклероз, заболевания печени и т. д.

Для определения нарушений периодичности функционирования отдельных органов в организме человека на ранних стадиях заболеваний ученые использовали различные косвенные методы, например биохимические. Так, эксперимент, проведенный шведским медиком Э. Форсгреном, показал, что количества выделяемых в печени желчи и гликогена обратно пропорциональны. При содержании в печени большого количества желчи гликоген присутствует в небольшом количестве, и наоборот. Таким образом, функционирование печени имеет периодический характер: образование в ней желчи чередуется с образованием гликогена. Нарушение такого чередования веществ, вырабатываемых печенью, проявляется на ранних стадиях заболевания.

Обнаружить появление рака печени на ранней стадии удалось шведскому медику Я. Мёллерстрёму. Он так же, как и Э. Форсгреном, наблюдал нарушение в функционировании печени, однако подход в определении причин нарушений был несколько иной: Мёллерстрём определял периодические изменения в скорости оседания эритроцитов в крови. В случае рака печени скорость оседания эритроцитов увеличивалась в 150 раз в течение одних суток по сравнению с нормой.

Наука накапливает все больше и больше фактов, свидетельствующих о важной роли биологических ритмов человека в оценке

нормального функционирования организма. Требовалось провести систематизацию накопленного опыта и приблизить его к непосредственному практическому использованию. Эту большую и важную работу осуществил шведский ученый А. Соллбергер. К концу 1964 г. он собрал и классифицировал экспериментальный материал по нарушению биоритмов в организме человека. Собранный материал ученый опубликовал в справочнике, который может дать полезные сведения для биологов и медиков.

Однако решение проблемы биологических ритмов человека касается не только обнаружения и устранения нарушений ритмов в организме, но и правильного, разумного использования этих ритмов во время хирургических операций, приеме медикаментозных средств, при электросне и многих других воздействиях на человека.

Из хирургической практики, например, известно, что кровотечения гортани бывают намного чаще, если они совпадают со второй четвертью лунного месяца. Поэтому хирурги избегают в этот период делать операции на гортани.

Важный момент для медиков – учет времени суток при введении лекарств в организм больного. Впервые этим вопросом занялся американский ученый К. Питтендрай. Он подбирал, теоретически обосновывая, периоды суток, наиболее благоприятные для приема того или иного лекарства. Время приема лекарств имеет важное значение. Одно и то же лекарство по-разному будет действовать на человека в разное время суток. Далеко не безразлично, например, днем или ночью принимать инсулин. Прием инсулина больными диабетом в ночное время даже при небольших дозах может привести к весьма нежелательным реакциям. В то же время днем восприимчивость к инсулину понижается, и он может быть принят в значительном количестве. Надо полагать, что в скором времени врачи будут выписывать лекарства с учетом времени суток их приема.

При разработке мероприятий по профилактике заболеваний необходимо учитывать чувствительность нормальных клеток к действию вируса во время определенных фаз их циркадного ритма. Это будет иметь значение при противоифекционных прививках, профилактическом приеме лекарств и других мероприятиях, связанных с предупреждением заболеваний.

О заболеваниях свидетельствует нарушение периодичности в функционировании не только органов и систем организма человека, но и отдельных клеток.

Американский специалист по биоритмам Л. Хейфлик на основании исследований предложил гипотезу, согласно которой все живые организмы на Земле имеют «генетические часы». Они контролируют продолжительность существования живых клеток, в результате чего клетки организма делятся определенное количество раз. Клетки человеческого организма могут делиться примерно 50 раз. Клетки животных и птиц имеют свои цифры деления: у мыши – 14 – 28 раз, курицы – 15 – 35 раз, черепахи – 90 – 125 раз. Контролю не поддаются лишь клетки раковой опухоли, поэтому они способны беспредельно размножаться.

Если бы ученым удалось своевременно распознать уход клеток из-под контроля «генетических часов», человечеству была бы представлена возможность надежного диагностирования раковой опухоли на ранних стадиях заболевания, и, быть может, открылись бы новые пути лечения рака.

Каждая клетка в любом живом организме ориентирована во времени. Многоклеточный организм человека имеет сложную иерархическую систему «живых часов». Такая временная организация биологических систем жизненно необходима. Она позволяет не только согласовывать жизнедеятельность организма во времени с внешней средой, но и создает условия для синхронизации всех процессов на внутриклеточном и внешнеклеточном уровнях.

Синхронизацию работы клеток и органов в живом организме можно получить навязыванием ему ритмов внешней среды, в частности световых режимов, нарушение же ритмических воздействий внешней среды приводит к ухудшению жизнедеятельности живых организмов и даже к гибели. Американскому исследователю К. Питтендраю удалось показать, что непрерывное освещение мух-дрозофил, а также неестественные световые режимы (не кратные 24 часам) резко снижают продолжительность их жизни.

Коллектив советских исследователей во главе с В. Б. Чернышевым повторил эксперимент К. Питтендрая, показав, что нормальный ритм дрозофил нарушается не только при непрерывном освещении, но и при непрерывной темноте.

Циркадный ритм человека обладает устойчивостью. И хотя дневная деятельность человека может быть искусственно перестроена, все же долгое время сохраняется 24-часовой цикл ряда функций его организма. В опытах, проведенных шведским биологом К. Хаммером на Шпицбергене, где летом длится непрерывный день, все часы и расписание работ живущих там людей были перестроены на 21-часовой день в одном случае, и на 27-часовой – в другом. Вскоре все испытуемые привыкли к новому расписанию, но их жизненные отправления продолжались в прежнем ритме.

При перелетах из одного часового пояса в другой человек болезненно переносит перестройку биологических часов на новое время. В этом случае нарушается ритм и согласованность физиологических функций и развивается десинхроноз, о котором мы ранее уже говорили.

Сравнительно недавно сделано важное и интересное для биологии и медицины открытие: снижение температуры тела на 1 – 2 °С способно продлить жизнь животных (и человека) на 20 – 25 %. Изменение температуры тела приводит к перестройке физиологических ритмов организма. Об этом свидетельствует, например, тот факт, что при заболеваниях лихорадкой биологические часы организма человека начинают «спешить». Дальнейшее изучение и развитие проблемы регулирования температуры тела человека – часть большой и важной проблемы управления ритмами его организма.

В настоящее время в медицине большое внимание уделяется вопросам, связанным с регуляцией ритмов организма человека внешними условиями. Еще в 20-е гг. XX столетия А. Л. Чижевский занимался изучением влияния солнечной активности на частоту заболеваний и физиологическое состояние человека. Он был первым, кто затронул важную для медицины проблему управления биологических ритмов человека факторами внешней среды. В последнее время этими вопросами занимается американский исследователь Ф. Браун, считающий внешние геофизические условия основными регуляторами ритмов организма.

Наиболее удобный объект для исследований регуляции ритмов живых организмов – насекомые. Используя реакцию насекомых на чередование светового и темного периодов, ученые разработали новые методы для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. При этом учитывалась особенность живых организмов по-разному воспринимать воздействие химических веществ и ядов в разное время суток.

Искусственное чередование периодов света и темноты оказалось могучим средством, позволяющим получать массовое цветение и плодоношение растений, высокую плодовитость животных. В этом направлении значительные работы проводились в нашей стране (Б. А. Рубин, И. И. Гунар) и за рубежом (Д. Гастингс и Ф. Холберг и др.). Была сделана попытка изменить циркадный ритм растений путем воздействия химическими веществами – цианидом мышьяка, колхицином, уретаном, этиловым спиртом и т. д. Оказалось, что на фазу и длительность периода деления клеток водоросли влияет тяжелая вода.

Таким образом, для управления циркадным ритмом растений и животных в практике сельского хозяйства наряду со световым может быть использован и химический способ.

Иной механизм воздействия на ритмы растений имеет ультрафиолетовое излучение. Оно может за несколько минут значительно сдвинуть фазу ритма растений (такой же сдвиг фазы получается при 30-минутном воздействии светом). Эксперименты, проведенные американским исследователем Ч. Эрето, показали, что воздействие ультрафиолетового света на растения связано с нуклеиновыми кислотами (ДНК – РНК). Исследования Ч. Эрета подтвердили гипотезу советского физиолога растений Д. А. Сабина, выдвинутую им еще в конце 40-х гг. XX столетия. Согласно этой гипотезе в основе механизма биологических часов лежит работа системы нуклеиновых кислот. Воздействуя ультрафиолетовым излучением на нуклеиновые кислоты, можно управлять ритмами растений, их созреванием и плодоношением.

Заключение к главе

Все живые организмы, начиная от простейших одноклеточных и кончая такими высокоорганизованными, как человек, обладают биологическими ритмами, которые проявляются в периодическом изменении жизнедеятельности и, как самые точные часы, отмеряют время. Изучение биологических ритмов организма человека позволит научно обосновать применение лекарственных препаратов при лечении больных. Поиски исследователей направлены в основном на определение возможностей управления биоритмами с целью устранения нарушений сна.

Исследования показали, что сущность расстройств сна заключается в нарушении нервных процессов, которые возникают вследствие изменения ритма функционирования различных органов и систем. Управление внутренними ритмами человека имеет важное значение не только для нормализации ночного сна, но и для устранения ряда заболеваний нервной системы, имеющих функциональный характер. По-видимому, большинство болезней у человека происходит вследствие нарушения ритма функционирования ряда органов и систем его организма. Поэтому изучение сна человека с позиций его биологических ритмов имеет большое значение.

Основные ритмы в природе, наложившие свой отпечаток на все живое на Земле, возникли под влиянием вращения Земли по отношению к Солнцу, Луне и звездам. Чижевский доказал, что солнечная активность обуславливает периодичность большинства биологических процессов на Земле. С увеличением солнечной активности меняется магнитное поле Земли, и это сказывается на возбудимости нервной системы человека.

По степени зависимости от внешних условий биологические ритмы подразделяются на экзогенные и эндогенные. Физиологические процессы в живых организмах тесно связаны с факторами среды. Из них первостепенную роль играют свет, температура, атмосферное давление и содержание кислорода в воздухе. Повторяемость процессов – один из признаков жизни. Благодаря биологическим ритмам живой организм гораздо легче приспосабливается к условиям внешней среды, которые регулируют длительность циклов и отдельных их фаз.

Биологические часы есть у растений, животных и человека. Установлено, что в организме человека имеется свыше 100 биологических ритмов, отражающих различные физиологические процессы. Это суточные ритмы сна и бодрствования, изменения температуры тела, работы сердечно-сосудистой системы, состава крови и т. д. Почти все функции организма связаны с расходом энергии. В связи с этим физиологический ритм организма отражает уровень обмена веществ. Еще в 1889 г. французский ученый Р. Рише дал физиологическое истолкование биологических ритмов. По его мнению, основной причиной суточных колебаний физиологических функций в организме человека являются периодические изменения возбудимости нервной системы, угнетающей или стимулирующей обмен веществ. В результате измене-

ния обмена веществ и возникают изменения различных физиологических функций. В организме человека биологические часы проявляются не только в изменении физиологических процессов, имеющих суточную и сезонную периодичность, но и в регулировании функционального состояния человека с околосесячной периодичностью.

Биологические ритмы – это периодические изменения функциональной активности различных органов и подсистем организма.

Как показали исследования ряда ученых, биологические часы существуют в каждой клетке живого организма, в качестве доказательства приводятся факты, свидетельствующие о наличии суточной периодичности у одноклеточных водорослей. Гипоталамус имеет непосредственное отношение к управлению суточным ритмом. В нем находятся центры, управляющие температурой тела, работой желез внутренней секреции, а также углеводным, водно-солевым и жировым обменом. Периферические часы работают независимо от гипоталамуса, и в своей деятельности они не связаны ни с центральными, ни с гомеостатическими часами. В них роль главного метронома могут выполнять надпочечники.

Биохимическая природа биологических часов подтверждается большим экспериментальным материалом. Он свидетельствует о том, что работа биологических часов внутри клетки основана на чередовании напряжения и расслабления, т. е. на релаксационных колебаниях. Основа процесса отсчета времени в клетке – очень длинные молекулы ДНК, названные «хрономами».

Контрольные вопросы

1. Что такое биологические ритмы?
2. Какова цель изучения биологических ритмов?
3. Какова цель управления биологическими ритмами человека?
4. Назовите основные ритмы в природе.
5. Каково влияние солнечной активности на биоритмы человека?
6. Назовите основные виды биоритмов человека.
7. Каковы основные факторы среды, тесно связанные с физиологическими процессами в живых организмах?
8. Назовите основные биологические ритмы человека.
9. Какова природа биологических часов?

Глава 2. ВЛИЯНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОРИТМЫ ЧЕЛОВЕКА

Биоритмы человека формировались в процессе эволюции. Организм человека сформировался в условиях атмосферы Земли, электромагнитных полей Земли, земной гравитации и под действием внешних космических факторов: Солнца, Луны, космической погоды. Особое внимание необходимо уделить электромагнитному полю Земли в резонаторе Земля – ионосфера, которое оказало сильнейшее влияние на сам организм человека, его основные физиологические особенности и на биоритмы человеческого организма. Изучение особенностей формирования организма человека в этих условиях являлось предметом исследований А. Л. Чижевского, В. А. Вернадского, А. Дугласа, Дж. Пиккарди, Н. А. Шульца, В. Б. Чернышева, А. П. Дубова, Б. М. Владимирского, С. А. Виноградова, С. R. Wilson, R. N. Sachdev, Н. В. Красногорской, Г. Селье, Ю. А. Холодова, Л. Х. Гаркави, Н. А. Агаджаняна. Работы этих ученых до сегодняшних дней имеют непреходящее значение и в данном учебном пособии им уделено значительное внимание.

В истории нашей планеты с момента ее формирования и до настоящего времени непрерывно происходили и происходят грандиозные процессы планетарного масштаба, коренным образом преобразующие лик Земли. Возникновение и развитие жизни на Земле есть итог длительного, многообразного и неравномерного процесса эволюции материи [1, 2].

А. Л. Чижевский писал: «Каждый атом живой материи находится в непрерывном соотношении с колебаниями атомов окружающей среды – природы; каждый атом живого резонирует на соответствующие колебания атомов природы...». В. А. Вернадский неоднократно подчеркивал, что любой организм функционирует как часть биосферы, он писал: «Живой организм биосферы сейчас эмпирически должен изучаться как особое, целиком не сводимое на известные физико-химические системы тело».

В течение эволюционного развития шел процесс не только непрерывного усложнения и совершенствования живых систем, но и процесс их временной организации [1]. Для жизнедеятельности организма и его выживания в непрерывно изменяющейся окружающей среде постоянно необходимы координация и регуляция разнообраз-

ных процессов целостного организма. Ряд процессов протекает в течение секунд, другие длятся часами. И все они требуют корректировки, обеспечивающей приспособление, связь с окружающей средой. Поскольку пространство и время представляют собой основные формы существования материи, в том числе биологической, то организации живых систем свойственны пространственные и временные закономерности. Физиологическое время [1] является внутренним временем, связанным с областью пространства, занимаемого живыми клетками. Есть основание полагать, что становление биологической временной системы происходит по определенной генетической программе и коррелирует с онтогенезом [3].

Современное состояние науки дает основание полагать, что основным признаком живого является колебательный процесс. Человек – это множество колебательных процессов: сердцебиение, колебания температуры тела, барабанных перепонки и голосовых связок. Колебания концентрации гормонов, циклы активности мозга, подъемы и спады умственной и физической работоспособности, колебательные процессы в клетке. Цикличность – феномен фундаментального значения. Цикличность биологических функций на всех уровнях – одно из условий существования живых организмов и рассматривается как одно из непеременимых свойств живой материи, неотъемлемое ее качество. Выработанная всем ходом эволюции временная последовательность взаимодействия различных функциональных систем организма с окружающей средой способствует гармоничному согласованию, настройке разных колебательных процессов на один лад и тем самым обеспечивает нормальную жизнедеятельность целостного организма.

Изучение ритмичности физиологических функций организма начиналось в Средние века, в эпоху Возрождения, а основательное изучение циклических процессов началось на базе экспериментальных фактов в XVIII в.

Библиографические ссылки

1. Агаджанян Н. А., Радыш И. В. Биоритмы, среда обитания, здоровье : монография. М. : РУДН. 2013. 362 с.
2. Яшин А. А. Живая материя: Физика живого и эволюционных процессов. М. : URSS, 2010. 264 с.
3. Агаджанян Н. А. Человеку жить всюду. М. : Сов. Россия, 1982. 304 с.

2.1. Геофизические механизмы влияния солнечной активности на организм. Влияние гелиогеофизических факторов на синхронизацию психологического состояния организма

Наличие корреляционных связей между индексами солнечной активности и некоторыми явлениями в биосфере (стихийно протекающие эпидемии и эпизоотии, статистика смертности) было установлено еще в 20-х гг. XX столетия А. Л. Чижевским [1, 2]. В последующие годы круг явлений, для которых так или иначе удастся проследить статистическую связь с солнечной активностью, значительно расширился. Например, основатель дендрохронологии А. Дугласс [3] обратил внимание на то, что толщина годовых колец деревьев, растущих во влажном климате, точнее следует вариациям чисел Вольфа, чем климатические показатели того же района, следовательно, между солнечной активностью и приростом деревьев существует непосредственная связь. Опираясь на данные медицинской статистики, Т. Дулл и В. Дулл [4] не только нашли 27-дневную цикличность в показателях смертности от некоторых заболеваний, сопряженную с магнитной возмущенностью, но и показали, что соответствующие изменения происходят синхронно для нескольких крупных городов. Дж. Пиккарди обнаружил те же закономерности, используя специально разработанные физико-химические тесты, в которых измерялась скорость осаждения коллоидного раствора [5] (результаты исследований Пиккарди проверены и существенно дополнены учеными Советского Союза [6]). Связь с уровнем солнечной активности такого физиологического показателя человека, как концентрация лейкоцитов периферической крови, была установлена Н. А. Шульцем на рекордно большом массиве данных – свыше $3 \cdot 10^5$ измерений [7]. В 70-х гг. XX в. были получены убедительные данные, указывающие на связь с солнечной (либо геомагнитной) активностью показателей жизнедеятельности бактерий [8], насекомых [9, 10], растительных организмов [11], птиц [12]. Эти и другие примеры [13 – 15] свидетельствуют о проявлении солнечно-земных связей в явлениях биологического мира. На протяжении долгого времени вопрос о реальности и природе подобных корреляционных связей (следует ли считать эту связь причинной?) был предметом полемики.

Ниже представлены некоторые данные и соображения о возможных геофизических механизмах связи солнечная активность – биосфера. Под геофизическими механизмами в данном случае подразумеваются схемы причинно-следственных связей, для которых определен конкретный физический агент среды обитания, с одной стороны, контролируемый солнечной активностью, с другой – непосредственно действующий на организм.

Традиционные экология, биометеорология и климатическая медицина до сих пор не учитывают ряда существенных для организма физических факторов внешней среды, но как раз некоторые из этих факторов эффективно контролируются солнечной активностью. Дальнейшее обсуждение ограничивается в настоящем изложении обоснованием экологической значимости для жизнедеятельности организма некоторого физического фактора, физиологический механизм действия которого требует особого рассмотрения в рамках других специальных дисциплин.

Многие исследователи [2, 5, 16 – 18], интересовавшиеся проблемой связи солнечная активность – биосфера, давно высказали догадку, что в реализации этой связи важную роль должны играть электромагнитные поля (ЭМП). В настоящее время есть все основания утверждать, что догадка эта оказалась в общем правильной.

Как показывает анализ [19], все основные особенности связи медико-биологических явлений с солнечной активностью могут быть поняты, если допустить, что живые организмы чувствительны к амплитудно-спектральным изменениям ЭМП в широком диапазоне деятельности Солнца и примыкающему к нему диапазону звуковых частот (атмосферика, магнитосферные шумы). Следует отметить, что феноменологические свойства гипотетических физических агентов, ответственных за связь биологических явлений с солнечной активностью, по описанию некоторых авторов, совпадают со свойствами инфранизкочастотных ЭМП (z-излучение А. Л. Чижевского [1], X-фактор Х. Мориямы [20], проникающее излучение Г. Бортельса [17]).

Биологические эффекты инфранизкочастотных электромагнитных полей (ИНЧ ЭМП) малой напряженности привлекли внимание лишь в последние годы после надежного обнаружения нетепловых эффектов биологического действия ЭМП в широком диапазоне частот и экологической значимости фоновых ЭМП [21 – 23]. Установлено,

например, что при воздействии на человека слабого (несколько вольт на метр) электрического поля (ЭП) частотой 2 – 3 Гц время задержки реакции у многих испытуемых увеличивается [24, 25]. Подобные результаты могут послужить разумной основой для объяснения корреляции между индексами солнечной активности и статистикой транспортных происшествий и производственного травматизма [26, 27]. Найдено, что нервная система (в частности, ЦНС) наиболее чувствительна к действию слабых ЭМП в широком диапазоне частот [28]. Обнаружено заметное воздействие поля с частотой в несколько герц и на сердечно-сосудистую систему [29, 30]. Под влиянием поля значительно ухудшается состояние сердечной мышцы у подопытных животных с экспериментальным инфарктом миокарда [31]. Последний результат можно связать с хорошо известными данными медицинской статистики о связи сердечно-сосудистой патологии с солнечной активностью [32], ибо магнитная буря сопровождается существенным увеличением амплитуды колебаний ИНЧ ЭМП. Показано также, что ИНЧ ЭМП оказывает заметное влияние и на систему крови млекопитающих [33]. Воздействие ЭМП, как правило, находится в пределах адаптационных возможностей организма (здоровый человек не замечает магнитных бурь!), и лишь когда эти возможности ограничены (ранний или, напротив, преклонный возраст) либо нарушены (уже существующая патология), воздействие поля может иметь серьезные последствия.

Независимым доказательством экологической значимости фоновых ЭМП могут служить эксперименты экранированием биообъектов от внешних полей. В ряде экспериментов обнаружено, что такого рода изоляция сопровождается определенными изменениями в жизнедеятельности организма, так что существование этого фона, по-видимому, важно для нормального функционирования биологических систем. Например, экранирование бактерий сопровождается подавлением их размножения [34, 35]. Трехмесячное пребывание мышей в условиях электромагнитного экранирования приводит к значительным изменениям их двигательной активности и мышечной работоспособности [36]. Длительное эффективное экранирование сказывается, видимо, и на некоторых физиологических функциях человека [37].

Изложенное выше позволяет сформулировать следующую схему механизма влияния солнечной активности на биологические явления:

возмущение на Солнце (например, мощная хромосферная вспышка) – возмущение магнитосферы и плазмосферы Земли (магнитная буря с внезапным началом) – изменение спектра ЭМП на поверхности Земли в области инфранизких частот – сдвиги в физиологических показателях организма (реакция на изменение внешней среды). Такая схема обладает важной особенностью – универсальностью, ибо, судя по лабораторным экспериментам, у большинства организмов обнаруживается чувствительность к изменениям уровня напряженности ЭП, обладающих высокой проникающей способностью.

Возможно, влияние солнечной активности на биосферу происходит сразу по нескольким каналам, и передатчиками такого влияния наряду с ЭМП могут быть и другие физические агенты, в частности, акустические шумы атмосферы очень низкой частоты – инфразвуковые колебания естественного происхождения [38]. Слабые затухающие колебания на частотах ниже 1 Гц являются одной из причин существования в каждой точке земной поверхности некоторого фона инфразвуковых шумов. С солнечной активностью тесно связаны инфразвуковые сигналы, генерируемые при развитии полярных сияний [39, 40]. Довольно значительная доля спорадических усилений колебаний в полосе частот 0,01 – 0,05 Гц на средних и низких широтах связана с магнитными бурями [41, 42]. Если в период магнитной бури K_p -индекс магнитной активности не менее 8, буря сопровождается акустической инфразвуковой бурей с вероятностью 100 %. Обычно спустя несколько часов после начала бури амплитуда инфразвуковых колебаний начинает возрастать, остается повышенной около четверти суток, а затем постепенно уменьшается. Описанные эффекты достигают максимума чаще всего после полуночи по местному времени. К сожалению, биологическое действие инфразвука малой амплитуды почти не изучено. Однако есть основания полагать, что в отдельных частотных диапазонах акустические колебания инфранизких частот биологически активны [43]. Если это так, то атмосферные инфразвуки – еще один фактор-посредник, реализующий влияние солнечной активности на явления в биосфере.

Известно, что поверхность Земли защищена от действия УФ-излучения Солнца слоем озона. Было обнаружено, что толщина озоносферы зависит от солнечной активности [44]. Это приводит к тому, что вблизи края полосы поглощения озона ($\lambda = 290$ нм) может меняться при-

земный поток УФ-излучения (несмотря на то, что излучение Солнца в этом диапазоне длин волн вне атмосферы остается неизменным). Согласно [45] при переходе от максимума к минимуму солнечной активности поток может измениться для средних широт в 1,5 раза, что весьма существенно, так как УФ-излучение на этих длинах волн обладает высокой биологической активностью. Бактерицидное, мутагенное и канцерогенное действие УФ-излучения обусловлено тем обстоятельством, что спектральная полоса $\lambda = 280 - 300$ нм перекрывает край полосы поглощения важнейшего биологического соединения – ДНК. Колебания потока УФ-излучения могут, следовательно, влиять на частоту мутаций микроорганизмов и некоторых простейших, а также приводить к физиологическим изменениям растительных организмов. Вероятно, именно с этими изменениями потока ультрафиолета связано наличие 11-летней цикличности в заболеваемости раком кожи у человека [45].

В работе [46] обращено внимание на возможную экологическую значимость еще одного явления – относительно резкого возрастания при геомагнитных возмущениях в атмосфере концентрации радона ^{222}Rn . По не выясненным пока причинам во время магнитных бурь существенно возрастает выход из грунта газов (в том числе ^{222}Rn). Явление носит глобальный характер. Биологический эффект возрастания концентрации радона (в среднем во время магнитной бури примерно в пять раз) двоякий [46]: при вдыхании обогащенного радоном воздуха несколько увеличивается доза облучения ионизирующей радиацией внутренних органов; в атмосфере (и во вдыхаемом воздухе) возрастает концентрация положительных ионов. Известно, что оба эти фактора могут вызвать физиологические сдвиги в организме. Неясно, однако, насколько они будут значительны. Как и в случае колебаний интенсивности УФ-излучения, влияние увеличения концентрации радона (если оно окажется реальным) относится к ограниченному кругу явлений.

Интенсивность галактических космических лучей, как хорошо известно, антикоррелирует с геомагнитной возмущенностью. Соответствующие изменения, однако, очень малы. Понижение интенсивности космических лучей в период магнитных бурь с внезапным началом (форбушэфект) обычно не превышает нескольких процентов, что соответствует ничтожному понижению дозы облучения на

протяжении двух-трех суток. Между тем из-за описанного выше эффекта скачкообразного возрастания радиоактивности атмосферы доза облучения организма ионизирующей радиацией фактически увеличивается. Ясно, что вариации интенсивности космических лучей не могут иметь существенного значения для обсуждаемой проблемы. Нет оснований также приписывать экологическое значение «классическим» вариациям геомагнитного поля, как это показано, например, в [14]. Во время главной фазы магнитной бури величина горизонтальной составляющей МП в интервале времени порядка суток уменьшается на средних широтах на несколько сотен нанотесл (~ 1 % от невозмущенного значения). Предположение о том, что изменение напряженности МП на 1 % на протяжении суток может сопровождаться заметными физиологическими сдвигами каких-либо показателей организма, противоречит результатам магнитобиологических экспериментов. Следует отметить, что влияние солнечной активности на биосферу в некоторых случаях может быть обусловлено вариациями метеорологических факторов (изменения атмосферного давления, температуры, режима выпадения осадков), поскольку процессы в тропосфере до некоторой степени обусловлены солнечной активностью.

Общепризнано, что все биологические системы на всех уровнях организации функционируют в режиме автоколебаний, которые внешне проявляются как биологические ритмы – циклические изменения показателей жизнедеятельности организма (физиологических, биохимических, психических и т. д.). В обширной литературе по биоритмам накоплено множество наблюдений над периодическими изменениями разного рода параметров. Наиболее подробно изучены для многих организмов полусуточный и суточный ритмы. Обнаружение ритма с периодом около семи дней дало основания поставить вопрос о естественном (а не историческом) происхождении календарной недели (некоторые исследователи придают этому периоду особое значение [47]). Кроме упомянутых ритмов, известны циклические изменения показателей жизнедеятельности человека с периодами около месяца (26 – 29 дней), полгода, год, около трех лет, около семи лет (так называемые макроритмы). На уровне систем организмов хорошо известны колебания численности некоторых популяций – «волны жизни» (с наиболее часто встречающимися периодами около трех-четырёх и десяти лет).

При исследовании околосуточных (так называемых циркадных) ритмов установлено, что они могут быть принудительно синхронизованы соответствующими изменениями факторов внешней среды, чаще всего – режимом освещенности. Синхронизация происходит по типу «захвата» частоты, как это имеет место для механических и электрических колебательных систем при подаче на них внешнего периодического сигнала. В связи с этим можно предположить [48], что и другие общие закономерности, найденные в нелинейной теории колебаний, возможно приложить к биологическим осцилляторам, т. е. существует возможность синхронизации очень слабым сигналом с малой величиной «расстройки», синхронизация по гармонике, биения на границе полосы синхронизации, параметрический резонанс и т. д. Вынуждающей силой для биологических автоколебательных систем могут быть в принципе любые периодически меняющиеся факторы внешней среды. К их числу следует, видимо, отнести климатические изменения (осадки, средние температуры) и, конечно, факторы, рассмотренные выше, – ЭМП, инфразвук и др. Все эти параметры среды модулированы изменениями солнечной активности и долгопериодными приливными воздействиями Луны.

Если синхронизация имеет место, то появляется корреляция соответствующего биологического показателя с индексом внешней (вынуждающей) силы, т. е. с солнечной (геомагнитной) активностью. Связь, однако, имеет ту особенность, что может изменяться от одного географического района к другому, поскольку собственный период колебаний в экосистеме (плотность популяции данного вида, например) определяется совокупностью местных условий, а захват частоты осуществляется по той гармонике солнечной цикличности, период которой наиболее близок к собственному периоду системы. При неполном совпадении (но близости) этих периодов могут возникнуть биения. В этом случае на кривых, описывающих, например динамику популяций («волн жизни»), должны наблюдаться характерные детали: одновременное присутствие двух периодов с изменяющимся соотношением амплитуд, постоянное смещение фазы, рассматриваемой относительно фазы «вынуждающей» силы. Во многих случаях обнаруживается разительное сходство кривых колебаний плотности популяций (насекомые, грызуны) [49] с описанной картиной.

Те же соображения, очевидно, применимы и в случае стихийно протекающих эпидемий и эпизоотии, если полагать, что эпидемический процесс носит автоколебательный характер. Систему в некотором приближении можно считать состоящей по меньшей мере из трех связанных осцилляторов: колебания в уровне иммунитета подверженных данному заболеванию индивидуумов, циклические изменения в выживаемости и вирулентности возбудителя и колебания в числе переносчиков возбудителя. В подобной системе синхронизация может возникнуть при воздействии внешней «возмущающей» частоты на любой из упомянутых осцилляторов (при условии соблюдения определенных соотношений между их собственными частотами). С точки зрения представлений о синхронизации легко понять и географическую изменчивость цикличности эпидемических явлений [50].

Представление о широком распространении в биологическом мире явлений типа принудительной синхронизации биоритмов может оказаться плодотворным для понимания определенных аспектов связи солнечная активность – биосфера. В частности, становится понятным присутствие высоких гармоник солнечной цикличности во многих периодически протекающих биологических процессах.

Таким образом, корреляционные связи между солнечной активностью и медико-биологическими явлениями следует рассматривать как причинные. Они поддаются объяснению, если сделать довольно естественное предположение, что среди факторов среды обитания, существенных для организмов, имеются и такие, которые зависят от вариаций солнечной активности.

Экспериментальные данные определенно указывают на экологическую значимость естественного ЭМП Земли в диапазоне инфранизких частот. Уровень напряженности этих ЭМП и их спектр эффективно контролируются солнечной активностью через вариации параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и изменения потока жесткого электромагнитного излучения, возмущающего ионосферные токовые системы. Возможно, что организмы реагируют на изменения и некоторых других факторов внешней среды, коррелирующих с солнечной активностью (инфразвук, колебания приземного ультрафиолетового излучения, вариации радиоактивности атмосферы).

Можно представить, по крайней мере, две схемы влияния гелиогеофизических факторов на биологические явления: 1) организм реа-

гирует на случайно распределенные по времени возмущения (магнитная буря с внезапным началом); 2) имеет место принудительная синхронизация ритмов биологических систем циклическими изменениями этих факторов. Очевидное теоретическое и прикладное значение солнечно-земных связей в биологии и медицине приводит к необходимости постановки дальнейших исследований всего круга процессов, относящихся к этой важной проблеме.

Библиографические ссылки

1. Чижевский А. Л. Об одном виде специфически биоактивного или z-излучения Солнца // Земля во Вселенной. М. : Мысль, 1964. С. 342 – 372.
2. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М. : Мысль, 1976. 366 с.
3. Douglass A. E. Solar records in tree growth. Science. 1927. Vol. 65. 220 p.
4. Dull T., Dull B. Statistic uber die Abhangigkeit der Sterblichkeit von geophysikalischen und kosmischen Vorgange // F. Linke, B. Rudder. Medizin – meteorol. Statistic. B. : G.V. 1935. P. 128.
5. Piccardi G. The chemical basis of medical climatology // Springfield: C^o. Thomas Publ. 1962. 146 p.
6. Опалинская А. М. Влияние солнечной активности на реакцию Пиккарди // Живые системы в электромагнитных полях. Томск : Изд-во ТГУ. 1978. С. 10 – 19.
7. Шульц Н. А. Влияние колебаний солнечной активности на численность белых кровяных телец // Земля во Вселенной. М. : Мысль. 1964. С. 382 – 389.
8. Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте / Ю. Н. Ачкасова [и др] // Солнечные данные. 1978. № 1. С. 99 – 104.
9. Чернышев В. Б. Возмущенность земного магнитного поля и двигательная активность насекомых. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М. : Наука, 1971. С. 215 – 233.
10. Becker G., Gerisch W. Korrelation zwischen der Frasaktivitat von termiten und der geomagnetischen Aktivitat // Zschr. Angew. Entomol. 1977. Bd. 84. P. 353.

11. Дубов А. П. Гелиогеофизические факторы и динамика выделения органических веществ корнями растений // Проблемы космической биологии. М. : Наука, 1973. Т. 18. С. 67 – 69.
12. Moor F. R. Geomagnetic disturbances and orientation of nocturnally migrating birds // Science. 1977. Vol. 196. P. 682.
13. Berg H. Solar-terrestrische Beziehungen in Meteorologie und Biologie // Leipzig : Akad. Verl., 1957.
14. Дубов А. П. Геомагнитное поле и жизнь Л. : Гидрометеоздат, 1974.
15. Дружинин П. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н. Космос. Земля. Прогнозы. М. : Мысль, 1974. 288 с.
16. Арениус С. Влияние космических условий на физиологические отправления // Научное обозрение. 1900. № 2. С. 261.
17. Bortels H. Meteorobiologische Untersuchungen an Azotobakter, Zentralblatt für Bakteriologie // Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, 1940. Bd. 102. P. 129.
18. Reiter R. Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre. Leipzig : Akad. – Verl, 1960.
19. Владимирский Б. М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М. : Наука, 1971. С. 126 – 141.
20. Moriyama H. Studies of X-agent // Yokohama Med. Bull. 1966. Vol. 17. P. 31.
21. Persinger M. A., Ludwig H. W., Ossenkopp K. P. Psychophysiological effects of extremely low frequency electromagnetic field : A review // Percept. And Mot. Skills. 1973. Vol. 3. 36 p.
22. Владимирский Б. М., Волынский А. М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 1. С. 126 – 150.
23. Marino A. A., Becker R. O. Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields // A review. Physiol. Chem. and phys., 1977. Vol. 9. P. 131.
24. König H., Ankermüller F. Über den Einfluss besonders niederfrequenter elektrischer Vorgänge in der Atmosphäre auf den Menschen // Naturwissenschaften. 1960. Bd. 47. P. 486.

25. Hamer J. H. Very low frequency electromagnetic field and reaction time of man // *Commun., Behav. Biol.*, 1968. Vol. 8. P. 217.

26. Bhaskara Rao D. S., Srivastava B. J. Influence of solar and geomagnetic disturbances on road traffic accidents // *Bull. Nat. Geophys. Res. Inst. (Hyderabad)*. 1970. Vol. 8. P. 39.

27. Дикельсон Э. Я. Зависимость травм и несчастных случаев в Риге от геомагнитных возмущений // *Солнечные данные*. 1976. № 7. С. 100.

28. Холодов Ю. А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. М. : Наука, 1975. 207 с.

29. Владимирский Б. М., Волынский А. М. Изменения сердечной деятельности у животных при воздействии низкочастотными электромагнитными полями // *Экспериментальная и возрастная кардиология*. Владимир, 1970. Ч. 1. С. 25.

30. Волынский А. М. Изменение сердечной и нервной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты // *Влияние электромагнитных полей на биологические объекты*. Харьков, 1973. С. 7 – 13.

31. Виноградов С. А., Артищенко В. А., Волынский А. М. Морфологические особенности инфаркта миокарда, возникающие при действии электромагнитного поля в эксперименте // *Влияние электромагнитных полей на биологические объекты*. Харьков, 1973. С. 37 – 42.

32. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность / М. Н. Гневых [и др.] // *Влияние солнечной активности на атмосферу Земли*. М. : Наука, 1971. С. 179 – 187.

33. Темурьянц Н. А. Влияние слабых магнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных : дис... канд. биол. наук. Симферополь : Крым. мед. ин-т, 1972.

34. Vering F. Bacterial under metallic screen // *Symp. Intern. Sur les relations entre phenomenes solaires et tres hautes frequences en chimie physique et en biologie*. Broxelles, 1960. P. 177.

35. Ачкасова Ю. Н. Метаболизм и скорость размножения микроорганизмов, развивающихся при экранировании электрических и магнитных полей // *Влияние электромагнитных полей на биологические объекты*. Харьков, 1973. С. 52 – 56.

36. Копанев В. И., Ефименко Г. Д., Шакула А. В. О биологическом действии на организм гипогеомагнитной среды // Известия АН СССР. Сер. Биол. 1979. № 3. С. 342 – 353.
37. Wewer R. The effect of electric fields on circadian rhythmicity in man // Proc. Of 12th COSPAR Plenary meet. Orague, 1969. P. 401.
38. Владимирский Б. М. Атмосферный инфразвук как возможный фактор, передающий влияние солнечной активности на биосферу // Известия КАО. 1974. Т. 52. С. 190.
39. Wilson C. R. Auroral infrasonic waves // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74. P. 1812.
40. Wilson C. R. Two-station auroral infrasonic wave observations // Planet. and Space Sci. 1969. Vol. 17. P. 1817.
41. Sachdev R. N. Microbarographic oscillations associated with geomagnetic activity // I bid. 1969. Vol. 74. P. 33.
42. Sachdev R. N. Microbarographic oscillations associated with geomagnetic activity // I bid. 1969. Vol. 74. P. 5413.
43. Gavreau V. Infrasons // Sci. J. 1968. Vol. 4. P. 33.
44. Angel J. K., Korshoverj. Quasi-biennial and long – term fluctuations in total ozone // Mon. Weather Rev. 1973. Vol. 101. P. 426.
45. Владимирский Б. М., Кисловский А. П. Солнечная активность и биосфера. М. : Знание, 1982. 62 с.
46. Шемь-Зале А. Э. Биотропность геомагнитных возмущений как следствие вызываемого ими повышения удельной радиоактивности воздуха // Биофизика. 1978. Т. 23. С. 955 – 958.
47. Ковальчук А. В. Космически обусловленные многодневные ритмы физиологических процессов как фактор эволюции животного мира // Космос и эволюция организмов. М., 1974. С. 133.
48. Владимирский Б. М. Биологические ритмы и солнечная активность // Биологические ритмы: Проблемы космической биологии. М. : Наука, 1980. Т. 41. С. 289 – 300.
49. Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе. М. : Изд-во иностр. лит., 1957.
50. Ягодинский В. Н. Гелиофизические факторы развития эпидемического процесса // Проблемы космической биологии. М. : Наука, 1973. Т. 18. С. 47 – 66.

2.2. Изменение адаптационных реакций организма под влиянием геофизических полей

В течение всей жизни организму приходится постоянно приспосабливаться к непрерывно меняющимся условиям внешней и внутренней среды. Изменение напряженности ЭМИ в связи с солнечной активностью [1 – 6], изменение электрических характеристик атмосферы в зависимости от метеорологических условий [9, 8], а также электромагнитного фона в населенных местах вблизи радиостанций, телецентров и т. п. [9, 10] не безразличны для организма, так как доказано, что все эти физические факторы обладают биологической активностью. Однако, несмотря на непрерывно происходящие изменения во внешней среде, в том числе и в электромагнитной обстановке, в организме поддерживается относительное динамическое постоянство внутренней среды – гомеостазис, что является необходимым условием существования организма.

Как происходит поддержание гомеостазиса? На первый взгляд, может показаться парадоксальным, что сохранение относительного постоянства внутренней среды возможно лишь благодаря реагированию на всевозможные изменения. В процессе эволюции в организме выработались приспособительные реакции, помогающие ему поддерживать гомеостазис и тем самым защищаться и выживать. Таким образом, приспособление тесно связано с защитой – не механической, а биологической, т. е. с устойчивостью (резистентностью) организма.

Для того чтобы рассмотреть вопрос о роли ЭМП в регуляции резистентности, необходимо характеризовать адаптационные реакции, определяющие уровень резистентности. Что это за реакции? Сколько их? Отличаются ли реакции организма на ЭМП от реакций на другие биологически активные факторы? И, наконец, можно ли избежать вредного действия электромагнитных возмущений и, даже напротив, повышать, используя ЭМП, резистентность организма с целью профилактики и лечения различных расстройств? Попытаемся ответить на эти вопросы.

В основе приспособительной деятельности организма лежит количественно-качественный принцип: на различную интенсивность раздражающего фактора организм отвечает различным качеством адаптационной реакции. Реакцию организма на всевозможные силь-

ные раздражители – стресс – открыл и описал канадский ученый Г. Селье [11, 12]. Впервые было показано, что ответная реакция организма на сильный раздражитель является неспецифической, так как она развивается стандартно на различные по качеству раздражители, достигшие определенной силы. Из описания Селье следует, что защита тесно переплетается с повреждением. Достаточно сказать, что в первой стадии стресса – реакции тревоги – наблюдаются кровоизлияния и язвы в слизистой желудочно-кишечного тракта. Процессы обмена чрезвычайно напряжены, преобладают явления распада над синтезом, энергетические затраты очень высоки. Увеличение секреции адренокортикотропного гормона гипофиза и вследствие этого глюкокортикоидных гормонов коры надпочечников приводит к подавлению основных защитных систем организма: тимико-лимфатической системы, системы соединительной ткани. В ответ на сильный раздражитель после кратковременного чрезмерного возбуждения в ЦНС развивается запредельное торможение – крайняя мера защиты по И. П. Павлову. Биологическая целесообразность этого явления заключается в снижении возбудимости, реактивности, в подавлении естественного защитного ответа, так как ответ, адекватный чрезмерной силе раздражения, мог бы погубить организм. В следующей стадии стресса – стадии резистентности – отмечается повышение неспецифической резистентности, т. е. повышается устойчивость не только к фактору, вызвавшему стресс, но и другим повреждающим воздействиям. Однако, как видно из характеристики реакции тревоги, повышение резистентности достигается очень дорогой для организма ценой. При тяжелом стрессе после стадии резистентности наступают декомпенсация, истощение и гибель. Различные стадии стресса являются неспецифическим фоном развития многих патологических процессов.

Однако в течение жизни организм встречается не только с сильными раздражителями, но и со слабыми, и «средними», на которые он тоже реагирует, но иначе, чем на сильные. Исследования показали, что на действие различных по качеству слабых, пороговых раздражений организм реагирует другой адаптационной реакцией, названной реакцией тренировки [13 – 14]. В ЦНС преобладает превентивное торможение. Биологическая целесообразность этого в снижении возбудимости, реактивности по отношению к слабому раздражителю, на который целесообразнее всего не отвечать. При повторении порого-

вых раздражений происходит перестройка, в основе которой лежит тренировка превентивного торможения – абсолютная величина. Порог раздражения постепенно растет. При длительной тренировке пороговым может стать раздражитель, вызывающий стресс у нетренированных, что свидетельствует о повышении устойчивости организма при развитии реакции тренировки. То же происходит в эндокринной, тимико-лимфатической, иммунной системах, а также в системе соединительной ткани [13 – 15]. Обмен веществ находится при этом на энергетически выгодном уровне, преобладают процессы синтеза. Таким образом, повышение резистентности при развитии реакции тренировки происходит физиологическим путем без явлений повреждения и больших энергетических затрат.

При действии различных по качеству раздражителей средней силы, промежуточных между слабыми и сильными, развивается иная адаптационная реакция, отличающаяся по комплексу изменений в организме и от реакции – стресс, и от реакции – тренировка. Раздражение средней силы является наиболее адекватным для возбуждения защитной деятельности организма. В ЦНС преобладает физиологическое возбуждение, но тормозной процесс не ослаблен. Защитные системы организма активируются. Уровень обмена умеренно повышен, процессы распада и синтеза хорошо уравновешены. Резистентность организма повышается значительно быстрее, чем при слабых воздействиях, и также физиологическим путем. Адаптационная реакция на раздражители средней силы (дозы) названа реакцией активации [16, 17]. Биологический смысл реакции активации – в повышении защитного ответа на раздражитель, который уже не является таким слабым, что на него целесообразнее не отвечать, и не является таким сильным, что для ответа на него необходимо подавлять защитные системы организма. В последнее время в реакции активации выделены две зоны – спокойной активации (ЗСА) и повышенной активации (ЗПА), которая непосредственно граничит со стрессом – превышение силы раздражения может перевести ЗПА в стресс.

Необходимо подчеркнуть, что реакции тренировки и активации в отличие от реакции – стресс – присущи здоровому организму. Живой организм постоянно находится в какой-либо стадии одной из адаптационных реакций. Поэтому так называемая норма является фактически смесью разных адаптационных реакций в различных ста-

дях, постоянно формирующихся в живом организме в результате действия раздражений, поступающих из внешней и внутренней среды в ЦВС. В подкорковых отделах мозга, главным образом в гипоталамусе, формируется тип ответа, который определяет развитие той или иной адаптационной реакции в организме, что осуществляется через подчиненные системы организма нервным и гуморальным путем. Ни одна специфическая функция не может реализоваться без определенного неспецифического фона. Характер этого фона определяется силой (дозой) воздействия. Это биологически целесообразно, так как позволяет отвечать экономически выгодно, без излишних трат.

Таким образом, описанные приспособительные реакции – неспецифические, так как развиваются в ответ на разные по качеству раздражители. Кроме того, эти реакции – общие, т. е. реакции всего организма с развитием стандартного комплекса изменений, соответствующего определенной реакции, во всех системах и органах, а также на всех уровнях организации, вплоть до субклеточного. Характер ответной реакции определяют биологическая активность раздражителя, чувствительность, реактивность организма и его резистентность.

Как и другие факторы внешней среды, ЭМП в зависимости от своей биологической активности вызывают различные адаптационные реакции. Это понятно, так как МП непосредственно влияет на ЦНС [18, 19] и изменяет функциональную активность гипоталамуса [15 – 18], постоянное МП снижает возбудимость [15, 20], вызывая преимущественно развитие реакции тренировки, а переменное МП в зависимости от частоты и напряженности оказывает тормозящее или возбуждающее действие [21, 22], вызывая соответственно реакцию тренировки или активации или даже стресс [15, 23, 24].

В опытах на животных нами были получены адаптационные реакции при помощи различных раздражителей (химических, фармакологических, биостимуляторов), в том числе постоянных и низкочастотных МП, а ниже ЭМП СВЧ диапазона нетепловых интенсивностей [15, 23]. Варьируя параметры МП и ЭМП, удавалось вызывать все адаптационные реакции. Стрессовое действие ЭМП, по нашему мнению, может быть причиной увеличения заболеваемости и числа дорожных катастроф во время геомагнитных возмущений [25 – 29]. Именно в это время повышается напряженность биологически активной низкочастотной составляющей ЭМП [21, 4, 19].

Большинство здоровых людей не реагируют болезненно на изменение электромагнитной обстановки. Однако это не является доказательством отсутствия влияния таких изменений на организм. Как в экспериментах на животных, так и при наблюдениях за людьми, нами показано, что устойчивость здорового организма может быть очень высока. Даже вредно действующий фактор не в состоянии быстро вызвать стресс. Такая устойчивость наблюдается, например, в состоянии повышенной активации (ПА), в котором часто находится здоровый молодой организм. Если же человек страдает каким-либо хроническим заболеванием, то он находится в состоянии стресса либо может легко перейти в это состояние под влиянием такого дополнительного воздействия, как резкое изменение геомагнитного поля (ГМП). Исследования [25 – 27] показали, что магнитные бури влияют преимущественно на больных людей, вызывая обострения имеющегося заболевания сердечно-сосудистой системы.

При изучении адаптационных реакций, вызванных МП, рассматривались не только показатели нейроэндокринных функций, но и показатели деятельности других систем, а также уровень и характер резистентности. Показано [13 – 17], что соотношения форменных элементов белой крови, особенно отношение между числом лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов (лф/сн), с большим постоянством характеризуют каждую из реакций и поэтому могут быть использованы как простые критерии для определения характера адаптационной реакции организма [13]. Наибольшая величина лф/сн наблюдается в ЗПА, ЗСА, затем – в реакции тренировки и наименьшая – при стрессе.

Исследования, проведенные в экспериментах на животных, у которых различные адаптационные реакции вызывались постоянными и переменными МП, нейротропными веществами, а также непосредственным электрическим раздражением гипоталамической области мозга через вживленные электроды, доказали наличие характерных для каждой из реакций изменений свертывающей системы крови. В последующем эти данные получили подтверждение при исследовании показателей свертывания крови у людей как здоровых, так и с нарушенными процессами свертывания крови различного происхождения. В последнем случае больные получали специально подобранные по анализам крови дозы переменного МП от аппарата «Полюс» [28] или биостимуляторы (растительного или животного происхождения).

В результате перевода стресса в другую адаптационную реакцию и стойкого ее подчеркивания у больных удавалось нормализовать свертывание крови при постепенной отмене специальных антикоагулянтов.

Исследования влияния развития реакций тренировки и активации, вызываемых и поддерживаемых у людей переменным МП, на величину артериального давления показали наличие нормализующего действия этих реакций. У 20 больных до лечения отмечалась выраженная гипертония (АД: систолическое – до 200, диастолическое – до 100 мм рт. ст.), а у 6 – гипотония (АД: систолическое – 90 – 110, диастолическое – 55 – 60 мм рт. ст.). Через две недели после начала лечения у больных 1-й группы (у восьми из них вызывали и поддерживали реакцию тренировки, у 22 – реакцию активации) АД снизилось (систолическое – 130 – 150, диастолическое – 75 – 80 мм рт. ст.) и держалось на этом уровне в течение всего курса лечения МП. Необходимо отметить, что все гипотензивные препараты были полностью отменены. Такой же гипотензивный эффект наблюдался у девяти больных с гипертонией при развитии реакции активации малыми дозами адреналина. У всех больных гипотонией вызывали и поддерживали действием МП реакцию активации. Происходила четкая нормализация АД (систолическое – 115 – 110, диастолическое – 60 – 70 мм рт. ст.). У всех больных улучшилось самочувствие, нормализовались сон и аппетит. У трех больных пожилого возраста, имевших до лечения по данным ЭЭГ нарушение питания миокарда, после лечения ЭЭГ стала нормальной.

Таким образом, развивающиеся под влиянием МП изменения в свертывающей системе крови и сердечно-сосудистой системе относятся к неспецифическим изменениям, являющимся результатом адаптационной реакции, что, как уже подчеркивалось, зависит не от качества, а от интенсивности (количества) раздражителя – степени биологической активности. Эти сведения могут быть использованы для профилактики обострений сосудистых расстройств, наблюдавшихся во время магнитных бурь. Поскольку характер реакции организма легко определяется по морфологическим изменениям белой крови, то людей, склонных к подобного рода нарушениям, необходимо незадолго до наступления электромагнитного возмущения брать под особый контроль и путем различных воздействий (в том числе и

специально подбираемых «дозировок» МП) поддерживать у них одну из физиологических реакций – тренировки или активации. Как уже указывалось ранее, у большинства здоровых людей, т. е. находящихся в состоянии реакции тренировки или активации, не отмечается патологических нарушений во время магнитных бурь, что объясняется высокой резистентностью, развивающейся в организме при этих реакциях.

Экспериментальные исследования, проведенные Я. В. Пантюхиным и А. А. Татаренко, показали, что при одной и той же интенсивности облучения ЭМП СВЧ соотношение между поглощенной, пропущенной и отраженной мощностью менялось в зависимости от адаптационной реакции, в которой находился организм. При реакциях тренировки и особенно активации доля поглощенной энергии была существенно меньше, чем при стрессе за счет увеличения энергии пропускания и отражения. При тяжелом стрессе большая часть мощности поглощалась. Такое «самоэкранирование» представляет, с нашей точки зрения, интересное явление, механизм которого необходимо исследовать. Во всяком случае, отсутствие вредного действия электромагнитных возмущений может быть связано с присущей здоровому организму свойству «самоэкранирования».

Говоря о повышении неспецифической резистентности под действием МП, необходимо хотя бы кратко затронуть вопрос о противоопухолевой резистентности. В настоящее время имеется большое число экспериментальных исследований, в которых показан противоопухолевый эффект ЭМП и МП [29 – 34]. Показано [15 – 17], что противоопухолевый эффект (торможение роста экспериментальных опухолей вплоть до полного их рассасывания) достигается при развитии реакции активации, вызываемой самыми различными способами. На большом, вначале экспериментальном, а затем и клиническом материале было показано, что противоопухолевое действие оказывают МП с параметрами, вызывающими развитие (при стойком поддержании) реакции активации [15, 35, 36]. Использование МП, приводящих к развитию стресса, вызывает даже стимуляцию роста опухоли. Таким образом, в основе противоопухолевого влияния МП лежит повышение неспецифической резистентности. Характер изменений в организме под влиянием ЭМП, как и любого другого раздражителя, зависит от того, какую адаптационную реакцию оно вызывает.

Анализ литературных данных по биологическому действию МП, применяемых в широком диапазоне как по величине магнитной индукции – от десятков мкТл до десятков Тл, так и по времени – от секунд до многих месяцев, показал, что наблюдаемые изменения укладываются в картину описанных адапционных реакций. Однако такая простая «многоярусная» зависимость, когда слабые воздействия вызывают реакцию тренировки, более сильные – реакцию активации, а еще более сильные – реакцию стресс, нарушается.

Имеются данные о том, что по мере роста напряженности МП магнитобиологические эффекты часто не увеличиваются, а даже уменьшаются [5, 21, 37], т. е. МП малой интенсивности, едва отличавшиеся от ГМП, оказываются чрезвычайно активными, даже более активными, чем МП высоких напряженностей [5, 38]; при действии МП различной напряженности часто наблюдаются однотипные эффекты [39]. Применение сверхмощных МП не оказывает повреждающего действия [40]. Отсутствует также простая линейная зависимость между биологической активностью и длительностью действия МП [8].

Таким образом, наличием трех адапционных реакций не исчерпываются возможности реагирования организма на МП различной биологической активности. Если бы по мере увеличения напряженности (или экспозиции) развивались только эти реакции и последняя из них – стресс, то дальнейшее превышение стрессорной «дозы» должно было бы, согласно Г. Селье, приводить организм к гибели. И, напротив, при любом уменьшении дозы, вызывающей реакцию тренировки, не должно было наблюдаться никаких изменений в организме, так как доза становилась бы подпороговой. Однако это не соответствует фактам. Специальное исследование влияния на организм постепенного увеличения МП с 0,1 до 50 мТл показало, что триады адапционных реакций (тренировка – активация – стресс) закономерно повторяются, причем отделяются друг от друга «зоной реактивности», в которой МП оказывается как бы не действующим [41, 42]. Такая периодичность в адапционной деятельности организма отмечается при действии не только МП, но и других раздражителей. Следовательно, в организме существуют различные уровни реактивности, своего рода «ярусы». На каждом из этих уровней количественно-качественные отношения более простые, чем во всей иерархии уровней в целом, а именно, слабые для данного уровня раздражители вызывают реакцию

тренировки, средние – реакцию активации, сильные – стресс. Увеличение биологической активности до величины выше той, которая вызывает стресс на предыдущем уровне реактивности, или уменьшение до величины ниже той, которая вызывает реакцию тренировки, приводит к переключению реакций с одного уровня на другой. Чувствительность одного уровня отличается от чувствительности соседнего в 5 – 10 раз у здоровых людей и в 2 – 5 раз – у больных. Это связано с различной величиной коэффициента реакции у здоровых и больных людей. Опытным путем было получено, что для перевода одной реакции в следующую необходимо увеличить активность раздражителя в 1,5 – 2 раза для здоровых людей и в 1,2 – 1,5 раза – для больных. Коэффициент реакции – величина довольно стабильная для каждого организма.

Сравнение адаптационных реакций, развивающихся на разных уровнях реактивности, показало, что основной комплекс изменений, характеризующий каждую из реакций, аналогичен. Это объясняет непонятные, на первый взгляд, данные о наличии однотипных изменений в организме под действием МП различных параметров. Возможность развития стресса при малых интенсивностях и реакций тренировки и активации при больших позволяет понять, почему малые поля могут оказывать более сильное действие, чем большие. Организм реагирует на каждом уровне как бы не на всю величину МП, а только на ее приращение по отношению к «зоне реактивности», наличие которой может объяснить отсутствие видимого биологического действия МП [42]. В то же время одна и та же реакция на разных уровнях реактивности не равна самой себе. По мере возрастания биологической активности раздражителя одна и та же реакция требует больших энергетических затрат (совместные исследования с М. Н. Кондрашовой, Е. И. Маевским и сотр.).

Изучение характера повышения резистентности при одних и тех же адаптационных реакциях, развивающихся на различных уровнях реактивности, показало, что при действии переменных МП малой интенсивности (0,1 – 0,7 мТл) резистентность, по крайней мере, не ниже, а иногда даже выше, чем при исследовании МП значительно большей интенсивности (30 – 50 мТл). Поддерживать реакции тренировки и активации также легче на тех уровнях реактивности, на которые действует МП малых интенсивностей, что может быть связано с

меньшими энергетическими тратами на этих уровнях. Дальнейшее изучение принципа периодичности в развитии адаптационных реакций к действию ЭМП и МП, изучение энергетической цены резистентности на разных уровнях реактивности позволит более осознанно избирать параметры ЭМП и МП для повышения резистентности организма.

Закрепившаяся в эволюционном процессе сложная периодичная количественно-качественная зависимость в развитии общих адаптационных реакций обеспечивает тонкую и чувствительную систему приспособления даже к небольшим количественным изменениям ЭМП в широком диапазоне значений, в том числе и к ГМП, в котором организм непрерывно функционирует.

2.3. Влияние электромагнитных полей геофизической природы на биологические ритмы. Влияние гелиогеофизических факторов на синхронизацию психофизиологического состояния организма

2.3.1. Три вида воздействия ЭМП на биологический ритм

Биологические ритмы – периодически повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. В той или иной форме биологические ритмы присутствуют, по видимому, у всех живых организмов и на всех уровнях биологической организации: от внутриклеточных до популяционных. Периоды разнообразных по своей природе колебаний варьируются в широком диапазоне – от сотых долей секунды для некоторых электрофизиологических процессов до многих лет для изменений численности популяций. Природные ЭМП – также ритмическое явление, не менее разнообразное по частотному спектру, причем многие частоты биологических ритмов и ЭМП совпадают.

Если ЭМП влияют на различные параметры биологических систем, то уместно предположить, что все или, по крайней мере, некоторые биологические ритмы вызваны ритмическими изменениями ЭМП. Однако многочисленные исследования не оставляют сомнений в том, что почти все биологические ритмы – автоколебательные процессы. Можно сомневаться лишь в эндогенной природе таких мало

изученных ритмов, как недельные, 27-дневные. Как правило, при изоляции объекта от внешних условий ритм сохраняется и может быть поставлен в любое фазовое соотношение с местным временем или даже изменить свой период [1]. Суточные ритмы у животных и растений не перестраиваются соответственно новому местному времени при дальней перевозке объектов в неэкранированных камерах в широтном направлении [2] и сохраняются при их наблюдении на Южном полюсе [3].

Таким образом, при современном уровне знаний мы не можем назвать ни одного биологического ритма, который был бы непосредственно вызван ритмическими измерениями электромагнитных полей. Тем не менее известен ряд фактов, когда биологические ритмы (их частота или амплитуда) меняются под воздействием ЭМП.

Теоретически воздействие ЭМП на ритм может быть трех видов:

1. ЭМП влияют на организм в целом, но не на сам генератор биологического ритма. Воздействие ЭМП может быть и информационным [4, 5], при этом изменяются также и параметры биологического ритма, его частота и (или) амплитуда аналогично тому, как зависит частота пульсаций сердца от уровня постоянной температуры тела или от «сигнала тревоги». Частота биологического ритма не должна строго следовать за частотой ЭМП в определенном диапазоне. В некоторых случаях возможны даже синхронные изменения частот биологического ритма и ЭМП (как в примере с воздействием на частоту пульсаций сердца стабильного уровня температуры).

2. ЭМП влияют только на внешние проявления ритма, на так называемые индикаторные процессы [6], но не на сам генератор биологического ритма. При этом усиление ЭМП или экранирование от него должно приводить к изменению амплитуды наблюдаемого биологического ритма, вплоть до его исчезновения, но не отражаться на частоте ритма.

3. ЭМИ влияют на сам генератор и являются датчиком времени, в данном случае связь между биологическими ритмами и ЭМП определяется закономерностям сложения нелинейных колебаний [9]. Датчик времени характеризуется двумя основными свойствами: 1) сдвиг фазы датчика времени приводит к соответствующему сдвигу фазы биологического ритма; 2) после настройки между датчиком времени и

биологическим ритмом сохраняется строго определенное фазовое соотношение [8]. Соответственно при частотах датчика времени, близких к частоте биологического ритма и в целое число раз больше или меньше ее, должен иметь место захват частоты. При этом в определенных ограниченных диапазонах частота биологического ритма должна следовать за частотой датчика времени. Вне этих диапазонов биологический ритм может потерять свой строго периодический характер, и через определенное число периодов должны появляться колебания с очень высокой амплитудой биения. Подчеркнем, что если действующий фактор является датчиком времени, то достаточно исчезающего слабого его воздействия на организм, чтобы получить отчетливый биологический эффект [9].

2.3.2. Экспериментальное исследование воздействия ЭМП на биологические ритмы

Попытаемся отнести к одному из указанных трех типов воздействия некоторые из наблюдавшихся фактов. Наиболее изучено влияние ЭМП на ритмы электрической активности мозга, сокращения сердца и на суточную ритмику. Под воздействием ИНЧ и ВЧ ЭМП, модулированных инфранизкой частотой, ритмы электрической активности мозга в ряде случаев изменяются [10 – 12].

Такая реакция наблюдается только у некоторых высокочувствительных людей (сенситивов) [10, 13]. Реакция может быть вызвана как в конденсаторе [14, 15], так и в соленоиде [13, 16]. В некоторых случаях сообщается о навязывании частоты внешнего раздражения при формировании некоторых ритмов головного мозга. Иногда это только приближение к частоте поля [15, 16], однако электроэнцефалограммы сенситивов [13] показывают четкий захват частоты ритмов ЭЭГ переменным МП в пределах частот 7,8 – 13 Гц. Кроме того, наблюдалась [17] синхронизация ритмов электрической активности мозга с частотой, близкой или кратной частоте модуляции высокочастотного поля (несущая частота – 40 мГц, модуляция – 2 или 7 Гц). Выдвинута гипотеза о биофизическом механизме восприимчивости мозговой ткани к ЭМП [18]. Таким образом, помимо влияния на общее состояние организма, ЭМП способны захватывать ритмы электрической активности мозга и, следовательно, быть датчиком времени для этих процессов. Правда, четкий захват частоты получен при

воздействию полем, напряженность которого на несколько порядков выше естественного.

Меньше оснований считать ЭМП датчиком времени для ритма сокращений сердца. Неоднократно отмечавшиеся изменения сердечной деятельности в ЭМП, видимо, не связаны по частоте с частотой внешнего раздражения [14, 19 – 21]. Однако при воздействии переменным МП с частотой около 0,5 Гц на умирающих крыс, отравленных сильным наркотиком, удалось наблюдать навязывание этого ритма сердечной деятельности [22]. В этом случае частота сокращений сердца только приближалась к частоте внешнего воздействия. Показана также синхронизация ритма сердечной деятельности высокочастотным полем, модулированным низкой частотой [17].

Остановимся на исследованиях воздействия ЭМП на суточные ритмы. В работах [6, 23] придается большое значение ЭМП как возможному датчику времени для суточного ритма. Экранирование от полей оказывает определенное воздействие на суточные ритмы, при этом меняется частота циркадных ритмов человека и степень их согласованности друг с другом [24]. Экранирование от МП приводит у некоторых объектов (воробьи, мыши) к снижению четкости ритма при сохранении его общей картины [25, 23]. По нашим данным, экранирование, наоборот, достоверно повышает четкость ритма выхода дрозофил из куколок в постоянной темноте. Однако экранирование заметно влияет на общее состояние организма [9], поэтому нельзя утверждать, что ЭМП являются датчиком времени. Описано исчезновение циркадного ритма движения листьев фасоли [27] при экранировании растений металлической сеткой. И в этом случае, по-видимому, имеет место общее воздействие на организм [28] или только на наблюдаемую ритмическую функцию.

При непосредственном воздействии ЭМП частотой 10 Гц наблюдались изменения периода циркадного ритма у человека и зеленого вьюнка [24, 29]. Вряд ли можно говорить о затягивающем действии на ритм ЭМП 10 Гц, столь далекой от суточной частоты. Единственный известный нам пример [24] затягивания циркадного ритма ЭМП – захват ритма человека на протяжении недели 25,8-часовым ритмом ЭМП (половина периода – воздействие поля частотой 10 Гц, половина – его отсутствие). Высказано предположение о затягивающем действии ЭМП на популяционные ритмы [30]. Если ЭМП влияет

на численность популяций, такой захват частоты или биение обязательно должны иметь место. Однако это предположение трудно проверить экспериментально. Интересно сообщение о биениях, возникающих в ритмике концентрации свободных радикалов и парамагнитных комплексов металлов переменной валентности, где период биологического ритма 23,5 ч взаимодействует с 24-часовой ритмикой условий [31].

Таким образом, нет достоверных сведений о биологических ритмах, непосредственно вызванных ЭМП. Однако ЭМП могут влиять на частоту и амплитуду ритма. По-видимому, в большинстве случаев ЭМП воздействует не на сам генератор ритма, а на организм в целом или на внешние проявления ритма. В некоторых случаях в эксперименте ЭМП могут выступать в роли датчика времени и способны захватывать частоту биологического ритма. Особенно наглядно это видно на примере ритмов электрической активности мозга. Вопрос о роли естественных ЭМП как датчиков времени остается открытым.

2.3.3. Околонеделные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля

Проблема выявления параметров гелиогеофизических и метеорологических факторов, влияющих на организм в естественных условиях пребывания его в биосфере, представляет сложную задачу ввиду недостаточности современных представлений об информативных параметрах среды, формирующих биотропный эффект.

Трудности обработки и анализа метеогеофизической и биомедицинской информации обусловлены рядом факторов. Случайный характер событий, формирующих метеорологические и геофизические процессы, определяет возможность их описания лишь в рамках вероятностной модели. Нестационарность процессов затрудняет получение достоверных статистических характеристик по реализациям конечной длительности. Многосвязность и статистический характер физиологических показателей, обусловленные действием на объект факторов внешней среды, психологических стрессоров и других артефактов, а также индивидуальные особенности организма затрудняют выявление закономерностей в динамике исследуемых процессов.

К числу наиболее важных и актуальных в настоящее время аспектов следует отнести выявление тонких механизмов, существую-

щих в сложном комплексе гелиогеофизических и метеорологических влияний на биологические объекты. В этом плане наименее изучены проблемы достоверности обработки данных, интерпретации результатов прогнозирования. Решение этих проблем требует разработки эффективных методов и вычислительных алгоритмов, реализующих выделение информативных параметров на фоне помех, обеспечивающих достаточную точность в оценке статистических характеристик, а также сжатия информации, которая содержится в больших массивах исходных данных.

Одно из исследований связано с изучением периодической структуры интенсивности инфарктов миокарда и Н-, Д-, Z-компонент ГМП для количественной оценки их связи в естественных условиях существования биосферы.

В основу исследования положена следующая модель. Рассматривается объект, находящийся в реальных условиях и подвергающийся воздействию внешних факторов. Реакцию объекта на воздействия $Y_p(k)$ характеризует вектор состояния $X_q(k)$, элементами которого являются составляющие суточной интенсивности сердечно-сосудистых осложнений при условии дифференциации больных по диагнозу, полу и возрасту. Векторная функция $Z_p(k)$ характеризует шум на выходе, обусловленный некоррелированными с входными возмущениями источниками, и определяется психологическими стрессорами, функциональными особенностями организма, множеством артефактов повседневной жизни. Оператор $q(u)$ описывает закон, по которому множеству входных возмущений ставится в соответствие множество медицинских показателей, и характеризует тракт, воспринимающий информацию об изменении внешних физических воздействий.

Полный отклик дискретной системы, состоящей из q входов и p выходов, при наличии постороннего шума на выходе записан в виде m -свертки:

$$Y_p(k) = \sum_{u=0}^n q(u)X_q(k \oplus u) + Z_p(k), \quad (1)$$

где знак \oplus означает сумму по модулю. В связи со спецификой образования m -сдвига для формирования реакции объекта помимо текущих и предыдущих входных данных необходимо знание будущих входных отсчетов. Технически при проектировании фильтров это реализуется устройством памяти в виде линии задержки, в которой хранятся предыдущие отсчеты. В организме человека такой инерционной си-

стемой, способной накапливать информацию о среде и в соответствии с ее вариациями перестраивать регуляцию процессов жизнедеятельности, является центральная нервная система. Интерес представляют два вида корреляций: 1) связь между входными и выходными параметрами объекта; 2) функциональная зависимость между переменными на входе и выходе объекта. При наличии статистически значимой связи между входными и выходными переменными объекта и известном операторе $q(u)$ возможно своевременное оказание медицинской помощи при использовании ЭВМ в замкнутом контуре управления.

Экспериментальные исследования показывают, что циклы поведенческих реакций и физиологических ритмов биологических объектов коррелируют с периодически изменяющимися параметрами внешней среды, причем синхронизаторами могут быть различные гелиогеофизические и метеорологические факторы, к которым организмы чувствительны [32]. В связи с наличием ~ 1 , ~ 7 , ~ 14 , ~ 27 -суточных колебаний в спектре многих природных явлений представляется возможным синхронизация внешними физическими факторами не только околонеделного, но и некоторых других физиологических ритмов.

Исследовалась реакция объекта на каждый из воздействующих факторов среды и на совместное влияние группы факторов. В первой группе исследований рассматривались случаи, когда факторы среды представляют: 1) независимые равноправные воздействия; 2) зависимые неравноправные воздействия.

В первом случае связь между входными и выходными переменными объекта оценивалась с помощью функции обычной когерентности [3]

$$k^2(r) = \frac{\Gamma_{12}(r)}{\Gamma_{11}(r)\Gamma_{22}(r)}, \quad (2)$$

где r – спектральный индекс; $\Gamma_{11}(r)$, $\Gamma_{22}(r)$ – автоспектры рассматриваемых последовательностей; $\Gamma_{12}(r)$ – взаимный спектр.

В отличие от корреляционной функции, которая нормируется по средней мощности исследуемых последовательностей, функция когерентности нормируется по мощности каждой периодической составляющей независимо. Это позволяет повысить точность и достоверность измерений за счет устранения влияния структурных особенностей автокорреляционных спектров переменных, измерить часть мощности, определяемую воздействием фактором, и часть мощности, обусловленную шумом для данной периодической составляющей.

Однако шум на выходе объекта может обуславливаться не только исследуемыми, но и другими воздействиями. В этом случае функция обычной когерентности примет ошибочно низкие значения, и для получения достоверной оценки связи необходимо вычислить функцию частной когерентности [3]

$$k_{y_i, x_i, x_l}^2 = \frac{M_{y_i x_i}}{\sqrt{M_{y_i, y_i} M_{x_i, x_i}}}, \quad (3)$$

где $M_{y_i x_i}$ – соответствующий элементу Γ_{lm} минор спектральной матрицы $\Gamma_{y_i, x_q}(r)$ всех $x(k), x_2(k), \dots, x_q(k), y_i(k)$ переменных.

Для данной периодической составляющей функция частной когерентности определяет связь выходной и одной из входных переменных после устранения влияния на них всех остальных исследуемых переменных.

В случае, когда факторы среды представляют собой зависимые неравноправные воздействия, предполагалось, что связь между двумя воздействующими факторами высока. Один из них $X_i(k)$ оказывает существенное влияние на переменную $Y(k)$ на выходе объекта, а второй $X_j(k)$ не связан с $Y(k)$. Тогда вычисленная с помощью коэффициента обычной когерентности связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ будет принимать ошибочно высокие значения и отражать лишь тот факт, что связь между воздействующими факторами велика. В этом случае достоверно оценить связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ можно путем использования функции частной когерентности, которая будет принимать меньшие значения, чем функция обычной когерентности.

Реакция объекта на совместное влияние группы действующих факторов исследовалась на основе функции множественной когерентности [3]

$$k_{y_i, x_1, x_2, \dots, x_q}^2(r) = 1 - \frac{|\Gamma_{y_i x_q}(r)|}{\Gamma_{y_i, y_i}(r) |\Gamma_{x_q x_q}(r)|}. \quad (4)$$

Для данной периодической составляющей эта функция позволяет определить долю мощности переменной величины на выходе объекта, определяемую суммарным влиянием учитываемых воздействий.

Эффективность спектральных методов исследования динамических характеристик объектов в значительной степени зависит от того, насколько выбранная система ортогональных функций соответствует

функции отклика на единичный импульс. В ряде случаев несколько отличных от нуля коэффициентов позволяют получить хорошую аппроксимацию последовательности. Однако при анализе многосвязных биологических объектов, находящихся под воздействием сигналов и помех различной природы, приходится учитывать большое число коэффициентов при использовании любых ортогональных разложений. Поэтому при выборе аппроксимирующих функций основное требование – обеспечение необходимой достоверности результатов при помощи простых в реализации алгоритмов. Исследовалась также целесообразность оценки статистических характеристик путем ортогонального разложения по функциям Уолша [4]. Метод рекомендован для практического использования в связи с простотой структурной реализации быстрых алгоритмов Уолша, обеспечивающих необходимую достоверность результатов.

Постулировалось, что скорость изменения факторов внешней среды является информативным параметром, сигнализирующим неблагоприятную реакцию организма, поэтому при предварительной обработке информации использовался фильтр первых разностей [3]. Для корректного сопоставления существенно разномасштабных временных проведено нормирование реализаций.

Обеспечение достоверности оценки спектра мощности достигалось в два этапа. На первом каждая реализация, состоящая из 512 точек отсчета, образованная синтезом частично перекрывающихся интервалов (январь – март, март – июнь, июль – октябрь, сентябрь – ноябрь), разбивалась на восемь равных отрезков, квазистационарность которых проверялась по критерию серий [3]. Для восьми отрезков реализаций вычислялись оценки выборочного спектра мощности $S^2(r)$, которые затем осреднялись по частоте следования. На втором этапе проведено осреднение полученного спектра по смежным частотам следования, сгруппированным по 1/3-октавному принципу:

$$\Gamma(n) = S^2(r), \quad (5)$$

где $n = r = 0, 1, 2, 3$.

$$\Gamma(n) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{r=a}^b S^2(r) a = 2^{i-1},$$

$$\Gamma(n) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{r=b}^c S^2(r) b = 5 \cdot 2^{i-3},$$

$$\Gamma(n) = \frac{1}{2^{i-2}} \sum_{r=c}^b S^2(r)c = 6 \cdot 2^{i-3},$$

$$i = 3, 4, \dots; n = 4, 7, 10, \dots,$$

где $\Gamma(n)$ – мощность в полосе частот следования, соответствующих (1/3) октавы.

По мере отдаления от начала координат число осредняемых спектральных компонент увеличивалось по 1/3-октавному закону. Такая фильтрация последовательностей позволила сохранить информацию о тонких деталях спектра, сократить число анализируемых спектральных компонент путем исключения излишней детализации спектра, обеспечить малую величину дисперсионной ошибки за счет расширения полосы анализа.

Экспериментальные исследования связи ГМП и частоты инфарктов миокарда проводились на ЭВМ. В качестве исходной информации рассматривались временные ряды среднесуточных значений H-, D-, Z-компонент ГМП и ежедневные числа достоверных случаев крупноочагового инфаркта миокарда за 1972 г. по данным основных, в том числе специализированных, стационаров Ленинграда [4].

На рис. 2.1 представлены оценки спектров мощности частоты инфарктов миокарда и H-, D-, Z-компонент геомагнитного поля. При проведении исследований в диапазоне колебаний от 11 до 2 суток анализировалась максимальная энергия спектров частоты инфарктов миокарда. H- и D-составляющие ГМП концентрируются в диапазоне колебаний с периодами 6 – 8 суток.

В результате оценки связи внешних физических воздействий и частоты инфарктов миокарда при помощи функций обычной, частотной и множественной когерентности установлено, что в диапазоне колебаний с периодами 6 – 8 суток существует статистически значимая, не зависящая от других воздействующих факторов, связь интенсивности инфарктов миокарда с H-, D-составляющими ГМП.

Оценки функций частотной когерентности между частотой инфарктов миокарда и H-, D-, Z-составляющими ГМП представлены на рис. 2.2. С 95%-ной доверительной вероятностью истинные значения функции частотной когерентности попадают в интервалы 0,82; 0,96, 0,73; 0,9 для H-, D-, Z-составляющих ГМП соответственно. Из полученных результатов следует, что указанные факторы представляют собой независимые воздействия. Однако их совместное действие затрудняет достоверную оценку связи с помощью функции обычной ко-

герентности, принимающей заниженные значения в диапазоне колебаний с периодами 6 – 8 суток. Малые числовые значения функции множественной когерентности (меньше 0,3 на всем диапазоне исследований) свидетельствуют о неадекватности аддитивной модели и дают основание для утверждения, что информация о воздействующих факторах в данной модели избыточна, а уровень мешающего шума велик.

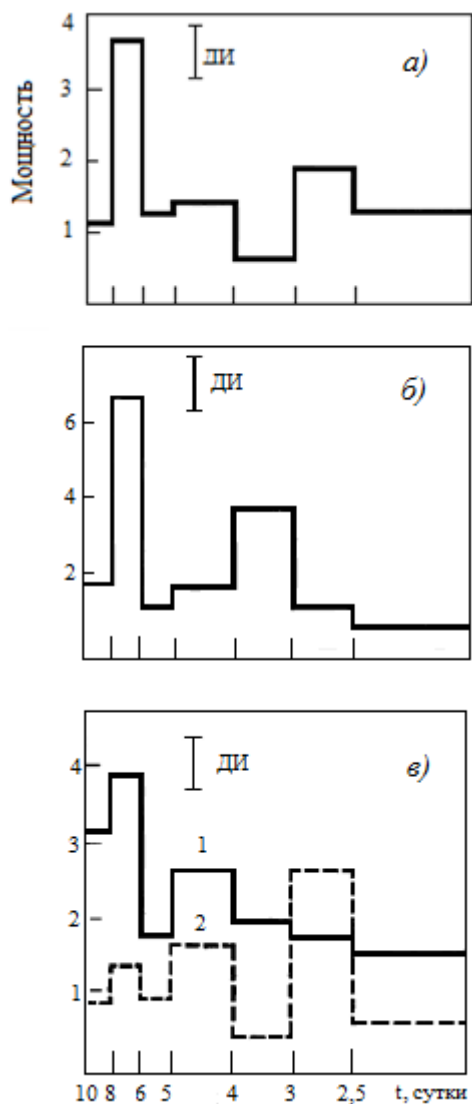


Рис. 2.1. Оценки спектров мощности: а – частота инфарктов миокарда; б – Н-составляющая; в – 1 – Д-составляющая, 2 – Н_Z-составляющая геомагнитного поля ДИ – 95%-ные доверительные интервалы для спектральной компоненты с периодами колебания $T = 6 + 8$ суток

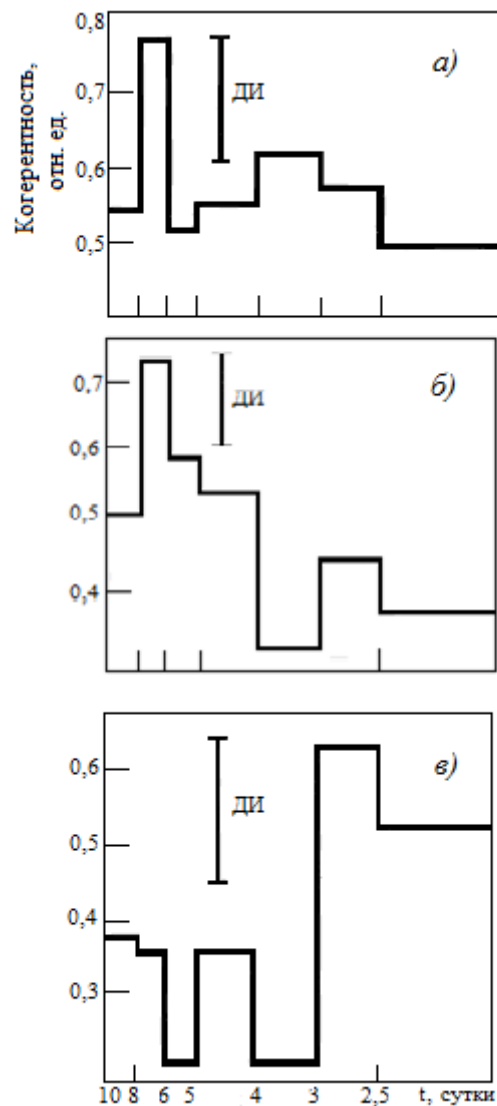


Рис. 2.2. Оценка функций частотной когерентности между интенсивностью инфарктов миокарда и а – Н-составляющими, б – Д-составляющими, в – Н_Z-составляющими геомагнитного поля

Спектральный состав геомагнитных возмущений зависит от процессов, протекающих на Солнце и в межпланетной среде. Так, синодическое вращение Солнца обуславливает в спектральном составе геомагнитных возмущений 27- и 14-дневную периодичность. Периоды, близкие к недельным (6 – 8 дней), по-видимому, формируются в спектре геомагнитных возмущений под влиянием волн скорости в солнечном ветре [6].

Функции биологических объектов также подвержены ритмическим колебаниям различной частоты [1, 2]. Главнейшим корректором циркадного ритма являются все геофизические факторы, связанные с вращением Земли вокруг собственной оси [1]. Полученные результаты приводят к заключению, что существуют датчики времени биологических ритмов с околонедельным периодом колебаний, причем амплитудно-частотная характеристика тракта биологического объекта, воспринимающая информацию об изменении параметров внешних физических воздействий, содержит ряд дискретных составляющих в спектре, соответствующих циркадному и некоторым другим ритмам физиологических процессов.

Изучение околонедельных биологических ритмов открывает пути к изучению механизма влияния ГМП на биологические объекты и к отысканию целенаправленного действия на адаптационные функции организма.

Прогноз интенсивности 6 – 8-суточных колебаний геомагнитной активности позволит своевременно организовать комплекс лечебно-профилактических мероприятий.

Библиографические ссылки

1. Влияние солнечной активности на биосферу. Проблемы космической биологии / под ред. Н. М. Сисакян. М. : Наука, 1982. Т. 43. С. 233.

2. Дубров А. П. Геомагнитное поле и жизнь. Л. : Гидрометеоздат, 1974. 176 с.

3. Музалевская Н. И. Характеристики возмущенного геомагнитного поля как раздражителя // Проблемы космической биологии. М. : Наука, 1973. С. 119 – 128.

4. *Она же*. Неоднородность низкочастотных флюктуаций электромагнитного поля и его экологическая значимость // Система адаптации человека и внешняя среда. Л., 1975. С. 113 – 115.

5. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М. : Наука, 1968. С. 288.
6. Чижевский А. Л. Периодическое влияние Солнца на биосферу Земли : докл. в Моск. археол. ин-те. Отд. отт. М., 1915.
7. Красногорская Н. В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л. : Гидрометеиздат, 1972. 322 с.
8. *Она же.* Электричество атмосферы Земли // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 1. С. 24 – 39.
9. Минх А. А., Думанский Ю. Д., Шандала М. Г. Электромагнитное поле как гигиенический фактор в условиях населенных мест // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 3. С. 41 – 48.
10. Пресман А. С. Электромагнитные поля в биосфере. М. : Знание, 1971. 64 с.
11. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М. : Медгиз, 1960. 267 с.
12. *Он же.* На уровне целого организма. М. : Наука, 1974. 122 с.
13. Гаркави Л. Х., Квакша Е. Б., Уколова М. А. Роль адаптационных реакций в патологических процессах и простые критерии этих реакций у людей // Регуляция энергетического обмена и устойчивость организма. Пущино, 1975. С. 172 – 182.
14. *Они же.* Адаптационные реакции и резистентность организма // Тр. Рост. науч.-исслед. онкол. ин-та. Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 1977. 190 с.
15. Гаркави Е. Б. Повышение неспецифической противоопухолевой резистентности организма с помощью бесконтактного раздражения гипоталамуса : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М. : Ин-т экспертизы и клин. онкологии АМН СССР, 1972. 41 с.
16. Гаркави Л. Х. Об общей неспецифической адаптационной «реакции активации», способствующей борьбе организма с опухолью // Тр. Ростов. науч.-исслед. онкол. ин-та. Ростов н/Д., 1968. С. 341 – 348.
17. *Он же.* Адаптационная «реакция активации» и ее роль в механизме противоопухолевого влияния раздражений гипоталамуса : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Гос. пед. ин-т им. А. М. Горького. Донецк, 1969. 30 с.

18. Холодов Ю. А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М. : Наука, 1975. 207 с.

19. Becker R. O. The effect of magnetic fields upon the central nervous system // Biological effects of magnetic fields. N. Y. : Plenum Press, 1969. Vol. 2. P. 207 – 214.

20. Квакина Е. Б., Котляревская Е. С., Квакин С. Д. Измерение возбудимости гипоталамуса под влиянием магнитного поля // Влияние магнитных полей на биологические объекты. М. : Наука, 1969. С. 103 – 106.

21. Владимирский Б. М., Волынский А. М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 1. С. 126 – 150.

22. Активирующее действие прерывистого магнитного поля на ЦНС / Е. Б. Квакина [и др.] // Новости медицинского приборостроения. М., 1971. С. 73 – 77.

23. Квакша Е. Б., Уколова М. А. О различных адаптационных реакциях в зависимости от силы воздействия магнитного поля // Влияние магнитных полей на биологические объекты. М. : Наука, 1969. С. 107 – 110.

24. Шихлярова А. И. О возможности передозировки при лечебном применении слабых магнитных полей на биологические объекты. Калининград, 1975. 170 с.

25. Ажицкий Ю. А. Некоторые данные о реактивности организма у больных, страдающих сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями в зависимости от различных гелиогеофизических условий // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 2. С. 72 – 74.

26. Ганелина И. Е., Чурина С. К., Савояров Н. В. Напряженность магнитного поля Земли и частота возникновения инфаркта миокарда // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 2. С. 75 – 76.

27. Ермолаев Г. Т. Влияние геомагнитных возмущений на больных с сердечно-сосудистой патологией // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 2. С. 74 – 75.

28. Соловьева Г. Р., Еремин В. А. Экспериментальный аппарат для магнитотерапии // Новости медицинского приборостроения. М., 1971. С. 63 – 68.

29. Абдулаев М. Д., Жданова С. М. Влияние постоянного магнитного поля на рост экспериментальных опухолей // Влияние магнитных полей на биологические объекты. М. : Наука, 1969. С. 3 – 5.

30. Демьяненко В. В. К вопросу о терапевтическом эффекте магнитного поля при экспериментальной карциноме Эрлиха. М., 1966. С. 27 – 29.

31. Пирузян Л. А., Маркузе И. И., Чибрикина В. И. Действие постоянного магнитного поля на асцитную опухоль – саркому-37. М. : Изд-во АН СССР, 1969. С. 893 – 898.

32. Холодов Ю. А., Жуковский В. Д., Шишло М. Н. Влияние магнитных полей на развитие злокачественных новообразований // Диагностика и лечение злокачественных новообразований. Киев : Здоровья, 1968. С. 299 – 307.

33. Vamothy J. M. Rejection of transplanted tumors in mice // Biological effect of magnetic fields. Н. I. : Plenum Press, 1964. Vol. 1. P. 100 – 108.

34. Action de champs electromagnetiques sur les graffes de la tumeur / M. R. Riviere [et al.] // Т. 8 Chez le rat. С. r. Asad. Sci. 1964. Vol. 259. P. 662 – 663.

35. Уколова М. А., Квакина Е. Б. Влияние магнитного поля на экспериментальные опухоли (прямое и через нервную систему) // Влияние магнитных полей на биологические объекты. М. : Наука, 1971. С. 147 – 164.

36. К вопросу о центральном и периферическом механизме противоопухолевого действия магнитных полей / М. А. Уколова [и др.] // Магнитное поле в медицине / Киргиз. гос. мед. ин-т. Фрунзе, 1974. С. 14 – 15.

37. Холодов Ю. А. Физиологические характеристики биологического действия магнитных полей // Гигиеническая оценка магнитных полей. М. : Наука, 1972. С. 30 – 34.

38. Спасская М. Г., Музалевская Н. И. Динамика некоторых биологических показателей при действии слабых переменных магнитных полей // Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы / Гос. мед. ин-т. Баку, 1972. С. 90 – 92.

39. Горшенина Т. И., Фрумкис А. Э. Морфологические характеристики действия переменного (50 Гц) магнитного поля малой напряженности в эксперименте // Магнитное поле в медицине / Киргиз. гос. мед. ин-т. Фрунзе, 1974. С. 84 – 86.

40. Влияние ПМП сверхвысокой напряженности на морфологический состав периферической крови / А. Г. Бородкина [и др.] // Магнитное поле в медицине / Киргиз. гос. мед. ин-т. Фрунзе, 1974. С. 78 – 80.

41. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б. О принципе периодичности в реакции организма на магнитное поле как неспецифический раздражитель // Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград, 1975. С. 18 – 19.

42. Квакина Б. Б., Гаркави Л. Х. Принцип периодичности в реакции организма на магнитные поля нарастающей интенсивности // Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М. : Наука, 1975. Т. 2. С. 52 – 64.

43. Straub E. D., Carver P. Effects of electromagnetic fields on microsomal ATPase and mitochondrial oxidative phosphorylation // Ann. N. Y. Acad. Sci. 1975. Vol. 247 p.

44. Алякринский Б. С. Основы научной организации труда и отдыха космонавтов. М. : Медицина, 1975. 206 с.

45. Хальберг Ф. Хронобиология. Кибернетический сборник. М. : Мир, 1972. № 9. С. 189 – 239.

46. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М. : Мир, 1972. 463 с.

47. Трахтман А. М., Трахтман В. А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М. : Сов. радио, 1975. 207 с.

48. Ганелина И. Е., Чурина С. К., Савояров Н. В. Состояние физических факторов внешней среды и частота основных осложнений острого инфаркта миокарда // Кардиология. 1975. № 10. С. 17 – 21.

49. Почтарев В. И., Птицына Н. Г., Чернин А. Д. Недельные геомагнитные вариации и их возможная связь с волнами скорости в солнечном ветре // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. № 3. С. 570 – 571.

2.4. Влияние Луны на биоритмы. Биоритмы, управляемые солнечной активностью

Известно, что действие Солнца на биосферу в значительной степени регулируется и дополняется множеством факторов, среди которых особого внимания заслуживает воздействие Луны. Это объясняется, в частности, ее близостью к Земле, вследствие чего, например, гравитационное влияние Луны на нашу планету сравнимо с солнечным. Все это дает основание по-новому отнестись к многочисленным разрозненным наблюдениям о влиянии Луны на живые организмы и решать этот вопрос с общих методологических позиций в рамках единого научного направления о влиянии космических тел на процессы в биосфере.

Известны данные о биоритмах [1], близких к периодам явлений, связанных с движением Луны (лунные биоритмы) и наиболее ярко выраженных у организмов, обитающих в прибрежной зоне открытых морей и океанов и адаптировавшихся к чередованию океанических приливов и отливов. Приливно-отливные колебания уровня воды имеют наряду с полусуточными и суточными компонентами также и более длительные – месячные и полумесячные. Временной ход этих колебаний определяется, прежде всего, лунными сутками, а также синодическим обращением Луны (периодом смены лунных фаз). Во многих случаях лунные биоритмы проявляются в виде циркадных наряду с солнечными, для которых, как известно, основным ориентиром служат солнечные сутки (в среднем 24 часа), что приводит к сложной картине биоритмов. Однако лунная суточная компонента надежно отделяется от солнечной суточной.

Лунные биоритмы к настоящему времени установлены у диатомовых водорослей, плоских червей, ракообразных, моллюсков, некоторых рыб и птиц, обитающих в литоральной зоне. Они отличаются очень точной привязкой к местным условиям прилива и могут долгое время сохраняться без изменения фазы в лабораторных условиях, в которых непосредственное приливно-отливное изменение уровня воды отсутствует. Наиболее замечательным, на наш взгляд, свойством лунных биоритмов в лабораторных условиях является их подстройка (в течение одной-двух недель) под местную кульминацию Луны, которая, как правило, не совпадает с максимумом приливной волны. Поразительно, что

этот эффект проявляется даже в тех случаях, когда наблюдения проводятся в глубине континента на географической долготе, существенно отличающейся от долготы места обитания.

Полумесячные и месячные лунные биоритмы наиболее заметны в ритмах размножения. Обычно это выражается в привязке процесса размножения к определенной фазе Луны (водоросли диктиота, червь палоло, рыба лаурестес, японские морские лилии, некоторые виды хирономид и поденок). Особенно интересны ритмы размножения беспозвоночных полихет, у которых ежегодный кратковременный сезон размножения приурочен не только к определенной фазе Луны, но и к определенному часу суток. В результате получается то же самое, что и при согласовании лунного и солнечного календарей – возникает известный из глубокой древности 19-летний цикл Метона [1].

Особо следует остановиться на так называемых свободно текущих циркадных биоритмах [1]. Часто для их изучения организм помещается в так называемые изолированные условия, когда, по мнению экспериментатора, устраняются все периодические внешние факторы и наблюдения якобы позволяют выяснить истинную периодичность эндогенных биоритмических процессов. При этом, как правило, наблюдаются отклонения периода биоритма от 24-часовой длительности. В частности, наблюдается «затягивание» периодов до 24,5 – 25 часов. Если эти факты сопоставить с данными о лунных биоритмах и принять во внимание, что в действительности от многих периодических внешних факторов отстраниться либо невозможно (вариации силы тяжести), либо очень трудно (геомагнитные вариации, электромагнитные шумы), то можно высказать предположение, что для затягивающихся циркадных биоритмов естественным временным ориентиром служат лунные сутки. Поэтому целесообразно выполнить анализ данных о затягивающихся циркадных свободнотекущих биоритмах с целью выделения лунной компоненты.

Анализ 18-летних ежедневных дневниковых записей позволил высказать [2] утверждение, что эмоциональной, сексуальной и интеллектуальной активностям свойственны периоды в 7, 14, 21, 28 – 30 суток. Такие же периоды (7 – 8, 13 – 15, 28 суток) установлены в отношении повторяемости сновидений; известны данные о 28-суточной периодичности в обострении неврологических заболеваний, течении маниакально-депрессивных психозов, приступов эпилепсии, мигрени,

неврастении, периодических параличей, истерических припадков, явлений алкогольного запоя [2].

По мнению автора работы [2], многодневные биоритмы имеют эндогенное происхождение, но соответствующие биологические ритмичные процессы запускаются внешними факторами, носящими, как правило, случайный, хаотический характер. Вследствие этого картина биоритмов может оказаться чрезвычайно запутанной из-за наложения нескольких периодических процессов, каждый из которых начался случайно. В жизни каждого человека существуют так называемые узловые точки, характеризующиеся «прояснением и усилением душевной жизни, особой чувствительностью организма, особенностью по отношению к другим узловым точкам» [2], которые проявляются в возрасте 6 – 7 лет, 12 – 13 лет, 18 – 19 лет, 31 – 32 лет, 37 – 38 лет, 43 – 44 лет, 50 лет, 56 – 57 лет и т. д. В среднем получается многолетний ритм с периодом около 6 – 7 лет.

В дальнейшем наблюдения над многодневными биоритмами привели к появлению так называемой теории физических, эмоциональных и интеллектуальных биоритмов с периодами в 23, 28, 33 суток соответственно [3]. Если условно изображать биоритмы синусоидами, зависящими от времени по закону $\sin \frac{2\pi}{T}t$, где T – период биоритма, t – текущее время, то согласно этой теории все три биоритма начинаются с нулевой фазы в момент рождения, отличаются высокой точностью и характеризуются каждый своим критическим днем – моментом, когда фаза биоритма равна $n\pi$ (n -целое). Особенно внимательно рекомендуется при этом относиться к двойным и тройным критическим дням, когда одновременно два или три биоритма имеют указанную фазу.

Проведена критическая оценка гипотезы [4] и предложена ее модификация. Предположим, что многодневные биоритмы связаны с движением Луны (рис. 2.3), и обратим внимание на то, что из четырех ее околосекулярных периодов два (период драконического месяца T_d -интервала между двумя последовательными прохождениями Луны через один из узлов ее орбиты и период аномалистического месяца T_a -интервала между последовательными прохождениями через перигей) почти симметрично отклоняются от периода сидерического месяца $T_c = 27,322$, определяющегося движением Луны относительно

неподвижных звезд ($\frac{1}{2}T_a + \frac{1}{2}T_d = 27,383$). Поэтому за основу расчетов предполагаемых лунных биоритмов можно взять полусумму T_2 синодического, $T_0 = 29,530$ (периода чередования лунных фаз) и сидерического T_c периодов: $T_2 = 28,426$ суток. Полагаем, что должны существовать еще два равноотстоящих от T_2 периода, причем в соответствии с наблюдениями длительность первого должна быть близка к 23 суткам. Вводим период $T_1 = \frac{5}{6}T_2$ и период $T_3 = \frac{7}{6}T_2$. Таким образом, в основу расчетов полагаются три периода: $T_1 = 23,69$ суток; $T_2 = 28,43$ суток; $T_3 = 33,16$ суток.

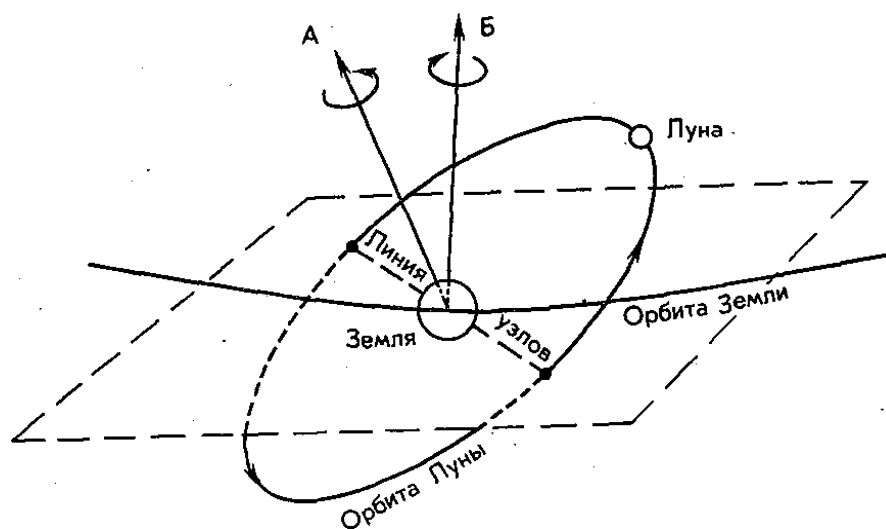


Рис. 2.3. Орбита Луны и ее движение: вращение перигея, определяющего аномалистический месяц, вокруг оси А; вращение линии узлов, определяющей драконический месяц, вокруг оси Б

Предполагаем, что дни перестройки организма наступают через каждую четверть этих периодов. По истечении 248,73 суток (биологический год) происходит совпадение фаз всех трех биоритмов. В пределах этого периода существует 15 двойных критических дней (совпадение фаз двух биоритмов) и один тройной критический день (совпадение фаз всех трех биоритмов).

Несмотря на то что предложенный нами способ расчета пока еще нельзя назвать достаточно обоснованным, в пользу выбора периодов T_1 , T_2 , T_3 можно привести следующие доводы:

1. Если многодневные биоритмы связаны с движением Луны, то период Tg в среднем удачно характеризует это движение.

2. Длительность 13 больших биологических циклов (3233,5 суток) практически совпадает с периодом движения перигея (3232,6 суток), т. е. введение большого биологического цикла также оправдано.

3. Девятая часть большого биологического цикла (27,4 суток) практически совпадает с длительностью аномалистического месяца.

4. T_1 , T_2 , T_3 близки к установленным экспериментально 23-, 28- и 33-суточным периодам.

5. Длительность 10 $T_2 = 284,3$ суток практически совпадает со средней продолжительностью нормальной беременности, составляющей согласно современным данным 280 – 285 суток.

6. Длительность 5 $T_2 = 142,1$ суток близка к сроку первого шевеления плода (в среднем на 140-м дне беременности).

7. Недостаточно корректное использование периода T_0 и введение периода T_2 , учитывающего сидерическое движение Луны, подтверждается аналогичными результатами для циркадных ритмов: имеются данные о наземных организмах, у которых обнаружены колебания биоритмов, связанные со звездными сутками [1].

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что предложенные нами периоды могут быть пригодны не только для изучения многодневных биоритмов, но и для уточнения циркадных.

Таким образом, введенные нами периоды T_1 , T_2 , T_3 согласуются как с астрономическими, так и с некоторыми биологическими периодами. Интервалы времени между критическими днями, разумеется, лишь приблизительно описывают ход многодневных биоритмов. Их следует рассматривать как некоторые временные опорные точки, в окрестности которых могут происходить смены физиологического состояния, аналогично тому, как для циркадных биоритмов временным ориентиром служит длительность суток.

Опишем возможные механизмы, объясняющие влияние Луны на биологические объекты. Переходя к обсуждению возможных механизмов селенобиологических связей, следует обратить внимание на существенное обстоятельство методологического характера, обусловленное близостью периодов движения Луны и периода вращения Солнца. В гелиобиологии принято анализировать временные ряды на основе 27-суточного периода вращения активных областей Солнца. Однако активные области формируются в широком интервале гелиографических широт. Учитывая дифференциальное вращение Солнца,

нетрудно убедиться, что в проявлениях солнечной активности встречаются периоды, сколь угодно близкие к лунным (например, на широте 27° период вращения активной области составляет 28 суток, т. е. длительность, обычно ассоциируемая с Луной). С этой точки зрения представляет интерес переработка некоторых результатов гелиобиологии, полученных в соответствии с 27-суточным солнечным календарем, по лунному календарю с целью выявления лунной компоненты в этих данных. Возможна, правда, и другая точка зрения.

Согласно [2] ритмическая организация движения материи имеет общую основу, пронизывает едиными ритмами живую и неживую материю, так что и ритмы движения небесных тел, и ритмы биологических процессов являются следствием единой более общей причины законов организации материи. В известной степени эта точка зрения согласуется с современными представлениями об эволюции Солнечной системы и о возникновении в ней резонансов (одним из которых и может оказаться отмеченное выше совпадение периодов лунного и солнечного движений). С чисто астрофизических позиций ясно также, что разделить влияние Луны и Солнца на биосферу трудно. Как и в гелиобиологии, селенобиологические связи могут быть либо опосредованными, либо прямыми. Опосредованные связи могут осуществляться за счет приливных эффектов в атмосфере, геомагнитных возмущений, изменения электрического состояния атмосферы, а также влияния Луны на метеорологические факторы (температура, давление, влажность). Различие этих механизмов будет определяться различными периодами. Например, ход атмосферных приливов, грозовая деятельность, выпадение осадков определяются прежде всего синодическим месяцем [5], гравитационное воздействие Луны на метеорную пыль, выпадающую в атмосферу, – драконическим месяцем [6]. Следует отметить, что сами по себе вопросы о влиянии Луны на метеорологические факторы [5, 6], о влиянии последних на человеческий организм [7] находятся лишь в стадии разработки, так что изучение опосредованных механизмов селенобиологических связей тесно переплетается с актуальными вопросами космической метеорологии и биометеорологии.

Среди механизмов, объясняющих влияние Луны на биологические объекты, следует отметить вариации геомагнитного поля, обусловленные 31-й компонентой.

Соответствующая гипотеза развивается в работе [1]. Кроме того, отметим гравитационную гипотезу [8], опирающуюся на данные гравитационной биологии [9] и физиологии растений [10]. В этой гипотезе предполагается существование клеточных и молекулярных механизмов, обеспечивающих восприятие живыми организмами не только гравитационных сил, но и их малых (в частности, приливных) изменений. Можно предположить ряд биофизических моделей таких механизмов [8], которые пригодны для объяснения гравитационно-биологических эффектов вообще.

Особого внимания заслуживают разработанные физические модели нетеплового воздействия слабых микроволн на биологические системы [11]. Эти модели, основанные на представлениях о возникновении когерентных возбуждений в сильно поляризованных биологических системах (биомембраны, клеточные органеллы, биомолекулы) под влиянием слабых ЭМП, пригодны для объяснения также и лунных биоритмов.

Таким образом, решение вопроса о механизмах селенобиологических связей тесно связано с современными проблемами космической метеорологии, биометеорологии, гравитационной биологии и вообще с проблемами влияния слабых внешних полей на биологические объекты. Для разработки механизмов могут оказаться пригодными модели, основанные на представлениях и методах физики твердого тела.

Библиографические ссылки

1. Браун Ф. Биологические ритмы // Сравнительная физиология животных. М. : Мир, 1977. Т. 2. С. 210 – 260.
2. Парна Н. Я. Ритм, жизнь и творчество. Л. ; М., 1925. 138 с.
3. Veil D. E., Sink F. L. Laboratory investigations of biorhythms // Aviat. Space environ. Med. 1976. Vol. 47. М-4. P. 425 – 429.
4. Ваша работоспособность сегодня / Н. А. Агаджанян [и др.]. М. : Сов. Россия, 1978. 85 с.
5. Bradley D. A., Woodbury M. A. Lunar synodical period and widespread precipitation // Science. 1962. Vol. 137. 7 sept. P. 748 – 749.
6. Adderley E. E., Bowen E. G. Lunar component in precipitation data. Science // 1962. Vol. 137. 7 sept. P. 749 – 750.
7. Weihe W. H. The application of meteorology in medical science // Int. J. Biometi. 1976. Vol. 20. № 2. P. 157 – 165.

8. Горшков М. М. Гравитация и жизнь // Люди, пространство и время. М. : Знание, 1976. С. 122 – 143.

9. Смитт А. Г. Основы гравитационной биологии // Основы космической биологии и медицины. Т. 2, кн. 1. М. : Наука, 1975. С. 141 – 176.

10. Либберт Э. Физиология растений. М. : Мир, 1975. 580 с.

11. Кайзер Ф. Нелинейные колебания (предельные циклы) в физических и биологических системах // Нелинейные электромагнитные волны. М. : Мир, 1983. С. 250 – 287.

2.5. Солнце как источник электромагнитного излучения

Солнце является источником электромагнитного (волнового) излучения в широком диапазоне длин волн – от низкочастотных радиоволн до гамма-излучения. Основная доля излучаемой Солнцем энергии приходится, как известно, на видимый диапазон спектра. Именно эта часть излучения вносит основной вклад в ту суммарную энергию, которая поступает от Солнца на Землю и которую принято характеризовать солнечной постоянной. Интегральная светимость Солнца как звезды отличается замечательной стабильностью – ее изменения не превышают 0,1 %.

За время существования биосферы (около $2,10^9$ лет) светимость Солнца не подвергалась заметным изменениям.

Корпускулярное излучение Солнца не играет существенной роли в его энергетическом балансе, но имеет важное значение для проблемы солнечно-земных связей, поскольку оно является весьма изменчивым. Эти изменения (как и изменения в некоторых участках электромагнитного спектра) связаны с солнечной активностью. Прежде чем их описывать, целесообразно напомнить некоторые данные о солнечной активности. Вся совокупность явлений, которую принято называть солнечной активностью, протекает на видимой поверхности Солнца и в его атмосфере. От видимой поверхности Солнца (фотосферы) до уровня в несколько тысяч километров солнечную атмосферу называют хромосферой. Далее располагается корона, которая находится в неустойчивом состоянии и постоянно расширяется, простираясь в виде так называемого солнечного ветра далеко за пределы земной орбиты. На расстоянии от фотосферы свыше десятка

солнечных радиусов корону часто называют межпланетной средой. Химический состав солнечной хромосферы и короны (солнечного ветра) – водород с небольшой примесью гелия и других элементов. Нагретый до огромной температуры (в короне – миллионы градусов) водородный газ образует плазму – электрически нейтральную смесь заряженных частиц (электронов и ионов) [1].

Подавляющее большинство явлений солнечной активности наблюдается в центрах активности – активных областях (АО), где обнаруживается усиление МП. Физическая сущность явлений солнечной активности – превращение энергии, накапливающейся в солнечных МП, в энергию движения газовых масс, энергию быстрых частиц и коротковолнового электромагнитного излучения. В конечном итоге процессы солнечной активности поддерживаются за счет энергии процессов, протекающих в недрах Солнца. Однако по сравнению с общей энергией, излучаемой Солнцем, энергия, связанная солнечной активностью, ничтожна и изменение уровня солнечной активности практически не сказывается на «энергоснабжении» Земли.

Наиболее легко наблюдаемое явление в АО – пятна. Они кажутся темными на фоне фотосферы, так как температура газа в пределах пятна ниже фотосферной температуры, что является следствием наличия в пятнах больших МП (вплоть до нескольких долей теслы). Пятна часто наблюдаются группами. Обычно нетрудно выделить в пределах группы области северной и южной полярностей МП, причем одна полярность приходится на ведущее (западное) пятно, а другая – на хвостовое (восточное). В простейшем варианте МП пятен в АО эквивалентно магнитному диполю, ориентированному вдоль параллели. По пятнам нетрудно исследовать вращение Солнца. Для земного наблюдателя период вращения экваториальной зоны Солнца составляет 27 суток. Для более высоких широт период увеличивается, так как Солнце вращается не как твердое тело.

Корона над группой пятен активной области имеет более высокую плотность и является источником дополнительного излучения в коротковолновом и радиодиапазонах. Когда АО наблюдается на краю солнечного диска, можно видеть протуберанцы – жгуты плазмы, «висящие» на силовых линиях магнитного поля высоко в короне. На диске Солнца в свете линии H_{α} протуберанцы выглядят темными волокнами.

АО возникают как участки фотосферы, где МП усиливается. Одновременно возникают факелы. Затем появляются пятна, площадь которых постепенно увеличивается. По истечении некоторого времени пятна уменьшаются, дробятся, АО деградируют и, наконец, постепенно исчезают [2, 3]. Большинство АО проходят весь путь развития за интервал времени, меньший одного оборота Солнца (27 суток). Однако нередки случаи, когда АО наблюдаются многие месяцы.

Наиболее важный процесс в изменении АО – хромосферные вспышки. Это взрывоподобное выделение энергии в виде тепла, излучения и ускоренных частиц (космические лучи), сопровождающееся выбросом облака плазмы. Яркость вспышки за несколько минут достигает максимума, а затем начинает постепенно спадать. В зависимости от мощности явления вспышке приписывают определенный балл. Самые слабые эффекты обозначаются в каталогах как $S(f)$ (субвспышка малой яркости). Далее по возрастающей идут баллы 1 и 2 (при них индексы f , n (нормальная) и b (яркая)). Мощным вспышкам приписывается балл 3, балл 4 соответствует событиям исключительной мощности. В достаточно развитой АО слабые вспышки могут наблюдаться очень часто – иногда каждые несколько минут, мощные (3 балла) случаются лишь несколько раз за весь период жизни области. АО значительно различаются по уровню вспышечной активности [4]. Число АО, наблюдаемых на диске в среднем за год, подвержено, как известно, циклическим изменениям периодам, близким к 11 годам и пропорционально относительному числу пятен и числам Вольфа. Соответствующий статистический материал и подробное описание многих закономерностей, обнаруженных при изучении циклических вариаций активности, можно найти, например в работах [5, 6].

В результате исследования магнитных полей солнечных пятен выяснено, что основным периодом циклических изменений следует считать не 11-, а 22-летний период, что связано с закономерностью изменений магнитных полярностей пятен. Смысл этой закономерности можно уяснить из рис. 2.4. В начале цикла пятна располагаются по обе стороны тора на широте около 30° . С приближением к максимуму и на спаде активности они систематически «сползают» к широте $+10^\circ$. Ведущее пятно биполярной группы имеет в северном и южном полушариях противоположные полярности, причем в начале первой половины 22-летнего цикла ведущее (западное) пятно активной области (например, в северном полушарии) имеет южную поляр-

ность. К концу первого 11-летнего цикла АО смещается к экватору, полярность пятен не меняется до начала следующего 11-летнего цикла. В новом 11-летнем цикле знак полярности пятен меняется в каждом полушарии на обратный. Весьма слабое общее МП Солнца также меняет свою полярность в каждом 11-летнем цикле. Смена полярности общего поля Солнца обычно происходит близ максимума активности. Итак, полная продолжительность цикла солнечной активности составляет 22 года и включает два 11-летних цикла (четный плюс нечетный). В изменении солнечной активности обнаруживаются и другие периоды, так что в результате получается картина целого набора периодов (циклов).

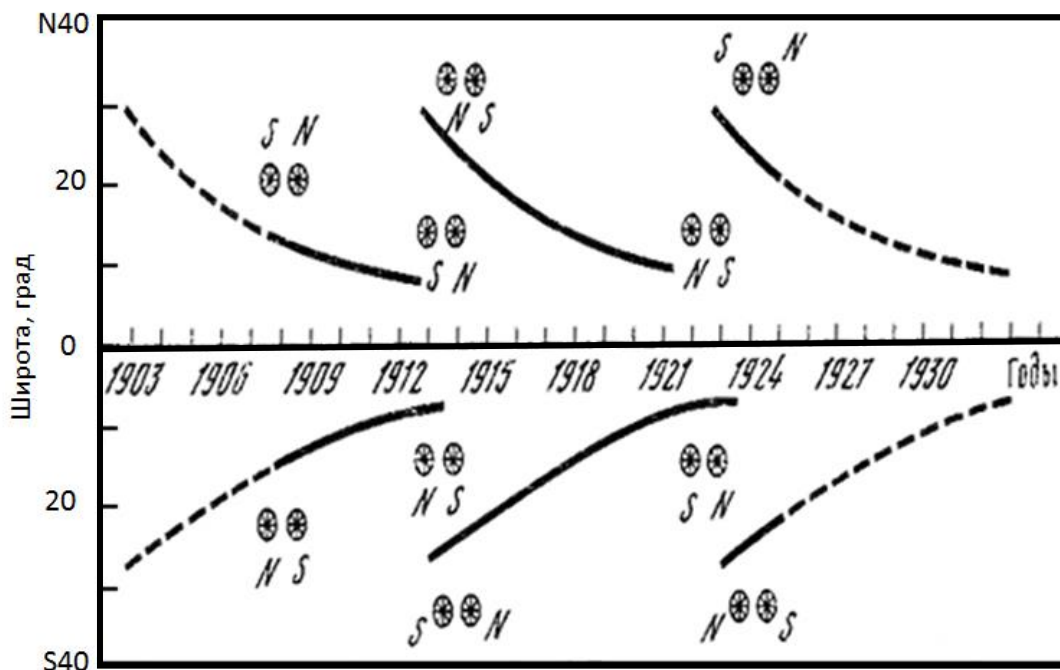


Рис. 2.4. Схема изменения магнитных полярностей пятен в 22-летнем цикле солнечной активности

Еще раз подчеркнем, что изменения уровня активности Солнца не являются строго периодическими. Более того, некоторые из гармоник солнечной цикличности иногда не обнаруживаются. Это касается даже 11-летнего цикла. Найдено, например, что пятна практически полностью отсутствовали в 1645 – 1715 гг. (так называемый маундеровский минимум) [7].

На рис. 2.5 приведены спектры электромагнитной радиации Солнца за пределами земной атмосферы от инфракрасного излучения до жесткого рентгеновского в периоды минимума 11-летнего цикла

солнечной активности, максимума ее и в период развития мощной вспышки (рис. 2.5, *a*). Из графиков следует, что оптическое (включая видимое) излучение (290 – 700 нм) не изменяется при переходе от максимума к минимуму активности. Однако в области мягкого рентгеновского излучения величина потока меняется в несколько раз, причем амплитуда вариаций растет с уменьшением длины волны. Максимальные потоки коротковолнового излучения зафиксированы во время развития гигантских хромосферных вспышек. В период развития таких вспышек Солнце становится источником гамма-излучения (с энергией квантов до нескольких мегаэлектронвольт). Большие изменения в коротковолновой части спектра от минимума к максимуму активности связаны с изменениями числа АО. Протекающие в них процессы и приводят к появлению дополнительного потока излучения.

На рис. 2.5 показана также область прозрачности атмосферы (заштрихована). Видно, что атмосфера пропускает сравнительно узкую часть спектра, именно этот участок длин волн – оптическое окно прозрачности атмосферы – организмы и воспринимают как свет. Излучение с длиной волны короче 290 нм, обладающее высокой биологической эффективностью (в больших дозах губительное для всех организмов), полностью поглощается атмосферой и земной поверхностью не достигает. Поскольку именно коротковолновая область спектра подвергается изменениям в связи с вариациями солнечной активности, можно сказать, что до поверхности Земли достигает только та часть излучения, которая от солнечной активности практически не зависит.

Поглощение коротковолнового излучения приводит к ионизации атомов верхней атмосферы и появлению в ней слоев высокой электрической проводимости – ионосферы [8], которая играет важную роль во многих электромагнитных процессах на Земле. Следует отметить, что ионосфера является эффективным экраном для радиоволн космического происхождения в широком диапазоне частот: космическое радиоизлучение поглощается в ионосфере приблизительно от 10 МГц вплоть до очень низких частот 5 Гц. Излучение в области частот от 10 МГц (длина волны 30 м) до 37000 МГц (длина волны 0,8 мм) проникает до поверхности Земли. В этом диапазоне проводятся радиоастрономические наблюдения, в том числе и радионаблюдения Солнца (радиоастрономическое «окно прозрачности»).

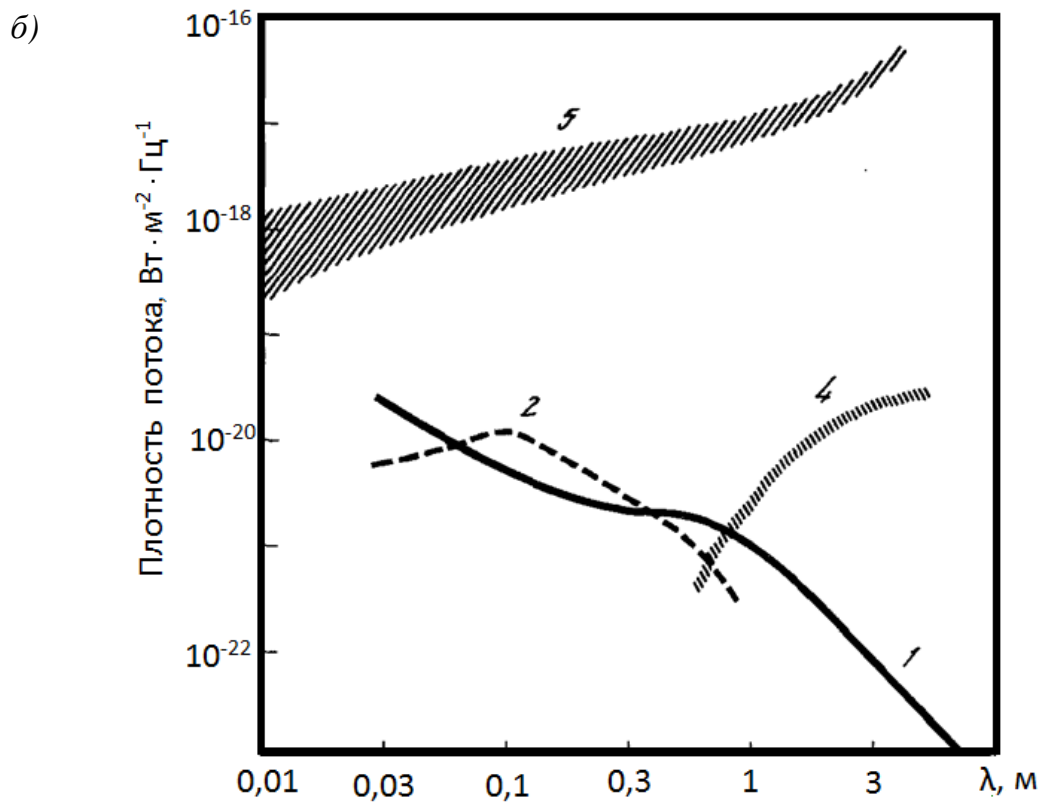
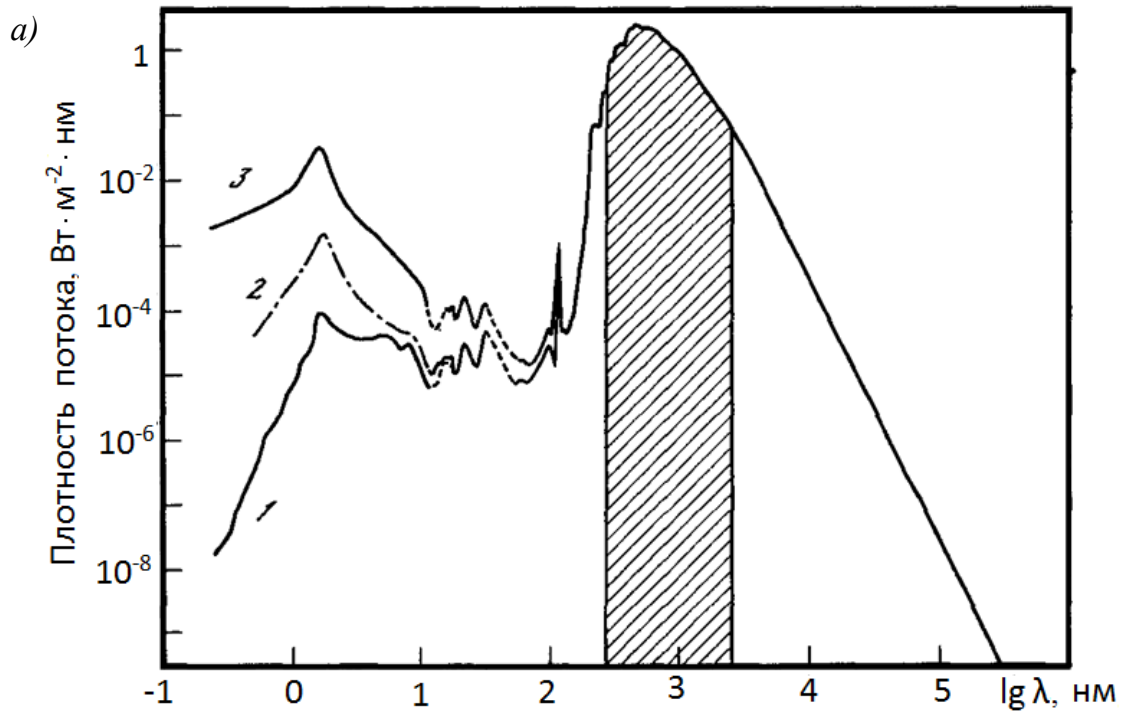


Рис. 2.5. Схематизированный спектр электромагнитного излучения Солнца за пределами земной атмосферы (а) и спектр радиоизлучения Солнца в радиоастрономическом «окне прозрачности»: 1 – минимум солнечной активности (спокойное Солнце); 2 – максимум солнечной активности; 3 – вспышка; 4 – магнитная буря; 5 – мощные радиовсплески

Наиболее мощные возрастания интенсивности радиоизлучения Солнца (большие радиовсплески) совпадают с развитием гигантских хромосферных вспышек. Длительность радиовсплеска на метровых волнах, связанного со вспышкой, составляет несколько часов.

Другой весьма распространенный тип возмущения в радиодиапазоне – шумовые бури, источником которых являются некоторые АО с пятнами большой площади. Это излучение с длиной волны более 1 м может продолжаться несколько суток. Очень большие изменения потока солнечного радиоизлучения происходят на еще более низких частотах. Однако это излучение уже находится вне «окна прозрачности», оно поглощается в ионосфере и не может регистрироваться на земной поверхности, о нем стало известно только после того, как радиоастрономические наблюдения на низких частотах стали проводиться на спутниках выше ионосферы.

Итак, атмосфера надежно экранирует биосферу от большей части электромагнитного излучения: до поверхности Земли доходит лишь узкая полоса в области ближнего ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного излучений (не зависящих от изменений солнечной активности), а также часть радиоизлучения (зависящего от солнечной активности, но имеющего очень малую интенсивность).

В отличие от электромагнитного корпускулярное излучение Солнца тесно связано с циклическими вариациями солнечной активности. Связь эта является довольно сложной. На орбите Земли плотность плазмы очень мала – около 10 ионов водорода в 1 см^3 – так называемый спокойный солнечный ветер. Важно, что плазма несет с собой МП солнечного происхождения: распространяясь, ветер увлекает МП солнечной короны, вытягивая его силовые линии. Индукция этого поля близ орбиты Земли невелика – всего около 4 нТл. Если смотреть со стороны северного полюса Солнца на плоскость гелиоэкватора, конфигурация силовых линий МП солнечного ветра имеет вид архимедовой спирали (рис. 2.6). Такую форму линий понять нетрудно: пока ветер, переносящий поле, преодолеет расстояние Солнце – Земля, что требует около 4,5 суток. Солнце успеет повернуться на угол около 60° .

В определенных интервалах гелиодолгот силовые линии поля направлены либо от Солнца (знак «+»), либо к Солнцу (знак «-»), образуя секторы МП определенной полярности (рис. 2.6). Эта секторная структура довольно устойчивая – при низкой или умеренной активности она может оставаться неизменной многие месяцы, повторяясь по отношению к наземному наблюдателю через каждые 27 суток. Секторная структура МП солнечного ветра является «продолжением» соответствующей структуры крупномасштабных МП Солнца. Для земного наблюдателя прохождение границы сектора (смена знака МП) через центральный меридиан Солнца (что может быть зафиксировано оптическими методами) сопровождается прохождением границы межпланетного магнитного поля (ММП) у Земли спустя 4,5 суток. Этот интервал времени соответствует времени «транспортировки» силовых линий ветром от Солнца к Земле со скоростью 400 км/с. На границах между секторами параметры СВ и МП скачкообразно меняются. Обычно наблюдаются либо четыре сектора (смена знака поля для земного наблюдателя через 6 – 7 суток), либо два сектора (знак поля меняется через 13 – 14 суток). Знак ММП (и соответственно границы между секторами) может быть определен из анализа геомагнитных измерений в полярных областях Земли [9]. Прохождение секторной границы близ Земли сопровождается характерными изменениями в индексах магнитной возмущенности, напряженности ГМП, циркуляции нижней атмосферы на средних широтах и даже в грозовой активности.

Земное МП является препятствием для солнечного ветра. Картина обтекания ветром этого препятствия напоминает то, что наблюдается при движении сверхзвукового самолета в атмосфере. Перед препятствием возникает ударная волна, за фронтом которой образуется полость – магнитосфера (рис. 2.7). Границу магнитосферы – магнитопаузу – отделяет от фронта ударной волны переходный слой. Солнечный ветер непосредственно в магнитосферу не проникает. С полуденной стороны граница магнитосферы располагается на расстоянии 7 – 10 радиусов Земли от ее поверхности. С ночной стороны «сдуваемые» ветром силовые линии геомагнитного поля (ГМП) образуют

хвост (магнитосферный шлейф), простирающийся далеко за орбиту Луны. Магнитосфера заполнена разреженным ионизованным газом (плазмой). Это отчасти «просочившийся» в полость солнечный ветер, отчасти – следы земной атмосферы. Нижняя область окружающей Землю плазмосферы переходит в ионосферу. Небольшая доля частиц плазмы СВ, попавших в магнитосферу, ускорена до энергий, близких к энергиям космических лучей, и образует пояса радиации. Эти околоземные космические лучи «заперты» в гигантской магнитной ловушке, образованной силовыми линиями ГМП (более подробно см., например, [10]).

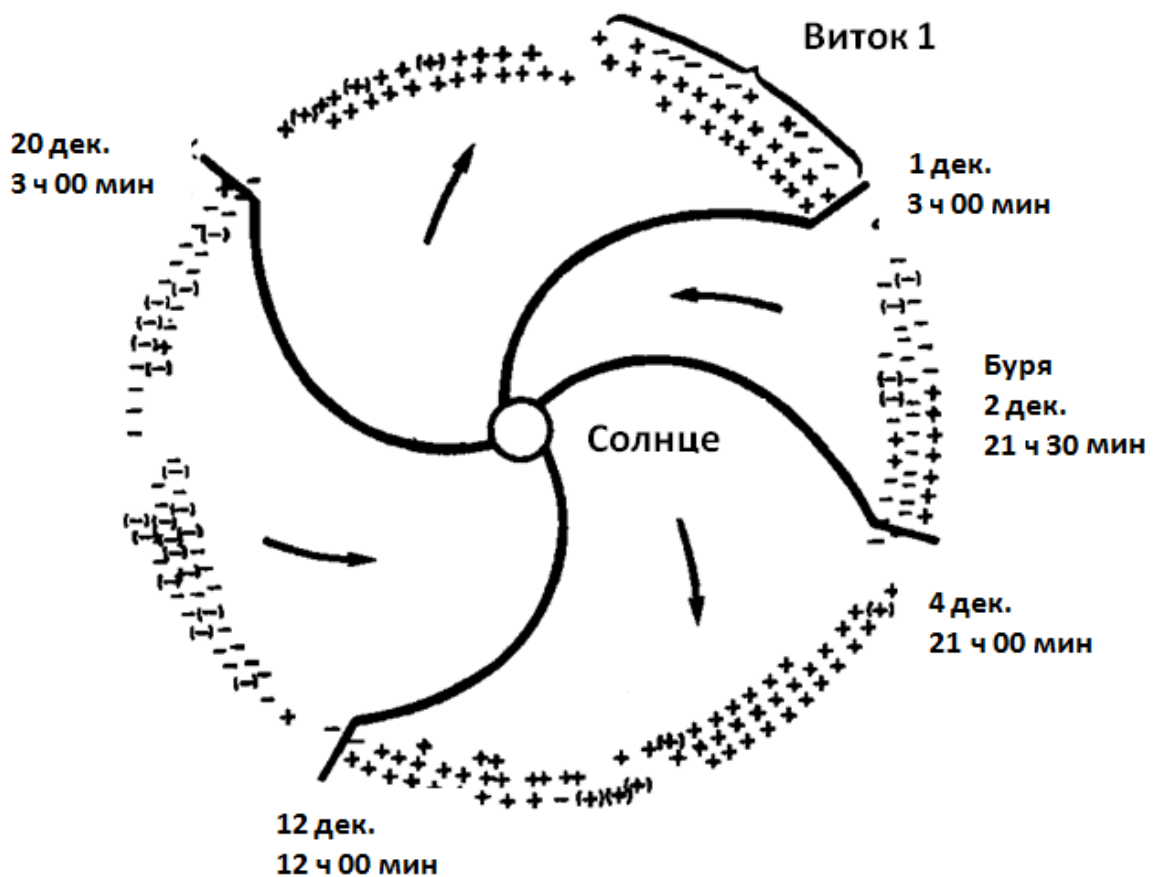


Рис. 2.6. Типичная для периода солнечной активности конфигурация силовых линий ММП в плоскости солнечного экватора. Знаками «+» и «-» показано направление поля от Солнца и к Солнцу соответственно; жирные линии – границы секторов, стрелки – преимущественные направления поля в пределах сектора

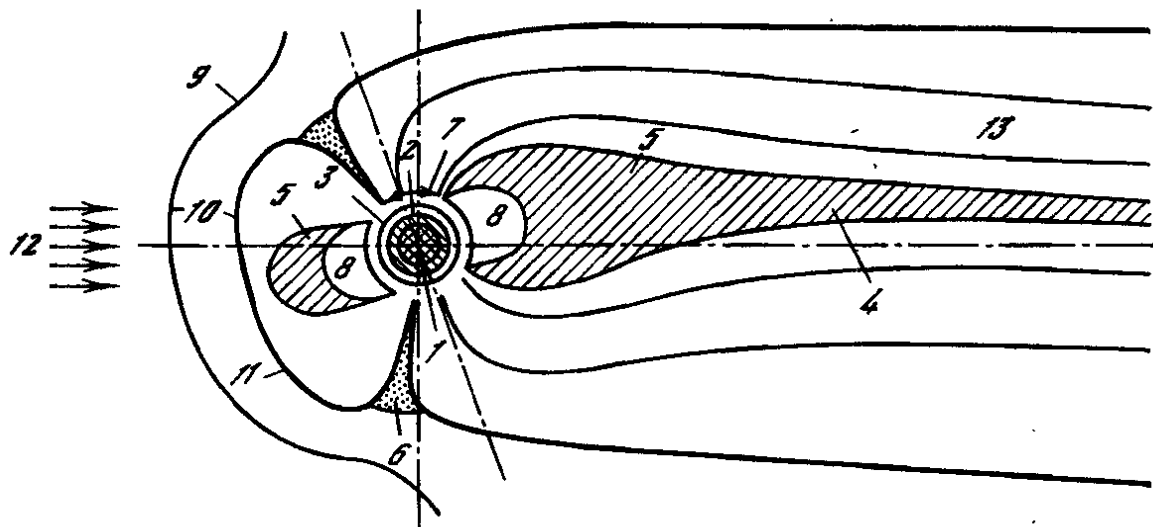


Рис. 2.7. Схематическое строение магнитосферы в плоскости, проходящей через магнитные полюсы Земли и линию Солнце – Земля: 1 – ядро Земли, 2 – магнитоактивный слой земной коры, 3 – ионосфера, 4 – плазменный слой, 5 – кольцевой ток, 6 – касп, 7 – полярная шапка, 8 – плазмосфера, 9 – фронт ударной волны, 10 – переходный слой, 11 – граница магнитосферы (магнитопауза), 12 – солнечный ветер, 13 – хвост. Области тока заштрихованы

Таким образом, ГМП не позволяет солнечному ветру приблизиться непосредственно к поверхности Земли. Но сама магнитосфера (с магнитосферным шлейфом и плазмосферой) под воздействием ветра оказывается источником электромагнитного излучения низкой и инфранизкой частот. В области инфранизких частот ($f < 5$ Гц) ионосфера вновь становится прозрачной для ЭМП, которое может регистрироваться на земной поверхности (рис. 2.8). Колебания инфранизкой частоты обычно наблюдаются как микропульсации ГМП – чувствительные индикаторы процессов, протекающих в ближнем космосе, их параметры тесно коррелируют с солнечной активностью. Например, во многих микропульсациях отчетливо прослеживается 11-летний цикл солнечной активности и его гармоники.

Существенные изменения наблюдаются в отдельных частотных полосах микропульсаций при прохождении близ Земли секторных границ ГМП [11]. Особенно сильные возмущения в диапазоне микропульсаций фиксируются после хромосферных вспышек на Солнце.

Вспышку в солнечной атмосфере можно уподобить точечному взрыву. В результате взрыва в межпланетное пространство выбрасывается с большой скоростью облако плазмы, которое при движении по спокойному СВ порождает ударную волну. Ударная волна и плазменное облако достигают орбиты Земли и обрушиваются на магнитосферу обычно спустя 40 – 50 часов после наблюдения оптической вспышки, вызывая магнитную бурю и бурю в микропульсациях.

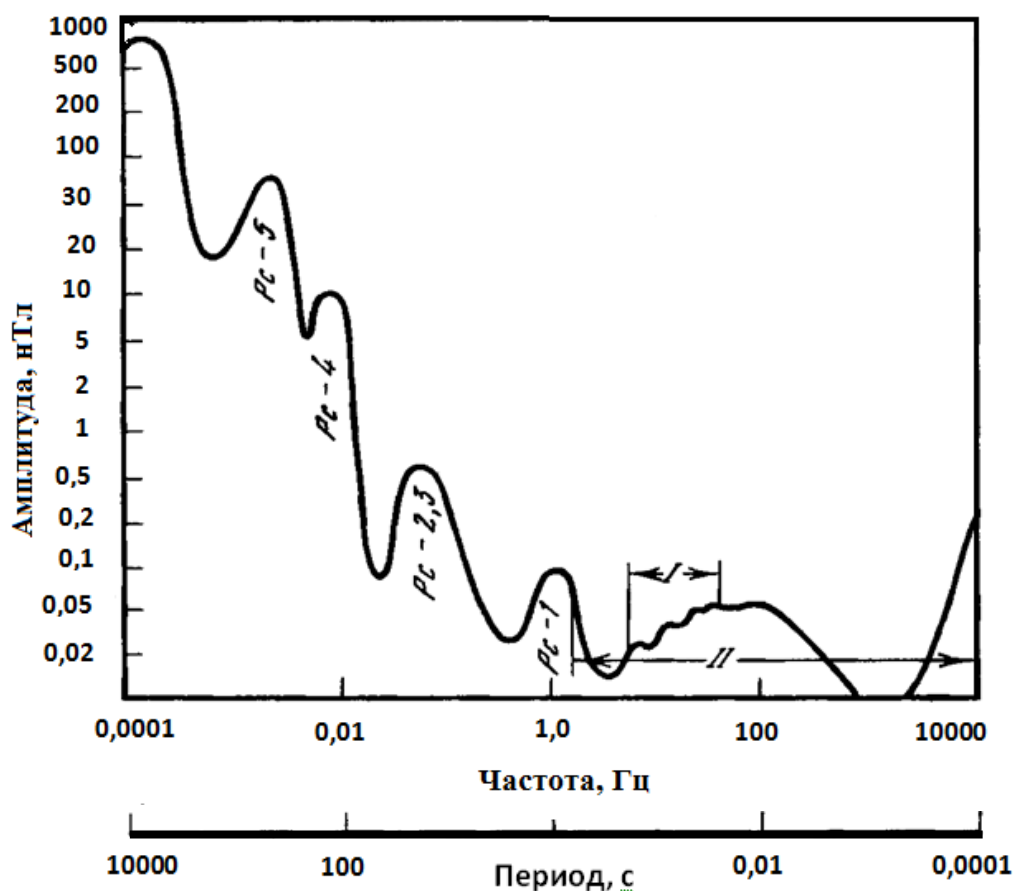


Рис. 2.8. Участок спектра естественных электромагнитных шумов в диапазоне инфранизких частот [10]. Обозначены основные типы микропульсации ГМП; I – область резонанса в полости, II – область атмосфериков

Со вспышками тесно связан еще один вид корпускулярного излучения Солнца – солнечные космические лучи – ядра различных химических элементов, в основном водорода (протоны), движущиеся со скоростью близкой к скорости света. Естественный «ускоритель» ра-

ботает в «импульсном режиме»: за несколько минут начального развития вспышки в межпланетное пространство из Солнца выбрасывается пучок частиц. Для частиц космических лучей межпланетная среда является средой рассеивающей («мутной»). Рассеивающими элементами в ней служат нерегулярности ММП: спиральные силовые линии МП, описанные выше, как бы подернуты «рябью». Это является одной из причин того, что даже наиболее энергичные частицы от вспышек попадают на Землю не за 8 минут (как электромагнитное излучение), а спустя 2 – 4 часа.

Итак, основной вид корпускулярного излучения Солнца – солнечный ветер. Магнитосфера не позволяет солнечному ветру приблизиться к Земле ближе чем на 7 – 10 земных радиусов. В магнитосфере энергия СВ частично трансформируется в электромагнитное излучение низких и инфранизких частот, которое проникает до поверхности Земли, где регистрируется как микропульсации ГМП. Второй вид корпускулярного излучения Солнца – солнечные космические лучи – в подавляющем большинстве случаев поглощаются в полярных шапках и поверхности Земли не достигают. Защитные оболочки Земли эффективно экранируют среду обитания человека от наиболее изменчивых составляющих солнечного излучения – электромагнитных и корпускулярных. Но от инфранизкочастотного излучения самой протяженной оболочки Земли – магнитосферы – биосфера не защищена.

Библиографические ссылки

1. Франк-Каменский Д. А. Плазма – четвертое состояние вещества. М. : Госатомиздат, 1963. 283 с.
2. Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика солнечной системы. М. : Мир, 1967. 488 с.
3. Койпер Дж. Солнце. М. : Изд-во иностр. лит., 1957. 609 с.
4. Смит Г., Спит Э. Солнечные вспышки. М. : Мир, 1966. 426 с.
5. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л. : Наука, 1973. 257 с.
6. Waldmeier M-The sunspot activity in the years 1610 – 1960. Zurich. 1961. 172 p.

7. Эдди Дж. История об исчезнувших солнечных пятнах // УФН. 1978. Т. 125. № 2. С. 315 – 329.
8. Физика верхней атмосферы. Л. : Гидрометеиздат, 1971. 406 с.
9. Мансуров С. М., Мансурова Л. Г. Секторная структура межпланетного магнитного поля в период МГТ и МГС // Геомагнетизм и аэрономия. 1973. Т. 13. № 5. С. 794 – 800.
10. Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М. : Мир, 1974. Ч. 1. 384 с. ; 1975. Ч. 2. 512 с.
11. Пудовкин М. И., Распопов О. М., Клейменова Н. Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Л. : Изд-во ЛГУ, 1976. Ч. 1. 270 с. ; Ч. 2. 219 с.

2.6. Вариации космических лучей в биосфере

Биосфера зародилась, развивалась и продолжает эволюционировать в условиях постоянно действующего фона ионизирующих излучений. Этот фон создается в основном за счет естественной радиоактивности почвы, Мирового океана и атмосферы; некоторый вклад вносят также космические лучи галактического (ГКЛ) и солнечного (СКЛ) происхождения [1].

Когда началось активное освоение космического пространства, перед исследователями четко обозначились следующие задачи, связанные с биологическим действием космических лучей (КЛ):

- 1) КЛ как один из определяющих факторов мутагенеза и эволюции органического мира;
- 2) относительный вклад КЛ в космобиологическую ситуацию на Земле;
- 3) опосредованное влияние КЛ на биосферу за счет их воздействия на верхние слои атмосферы (опустошение озонового слоя, образование радиоуглерода и т. д.);
- 4) радиационная опасность при космических полетах;
- 5) учет радиационных эффектов КЛ в поисках следов жизни на других планетах, в биологическом освоении внеземных территорий и т. д.

Эти вопросы частично рассмотрены в [2], ниже приведены некоторые данные, касающиеся в основном первых трех задач.

КЛ можно рассматривать как один из определяющих факторов мутагенеза и эволюции органического мира. В геологическом масштабе времени космические лучи – один из постоянно действующих радиационных факторов внешней среды. Диапазон энергий ГКЛ весьма широк – от 1 до 10 эВ. В потоке ГКЛ в межпланетном пространстве преобладают протоны (около 85 %), остальное – ядра гелия (больше 12 %) и более тяжелых элементов (не больше 2 %), а также электроны (не больше 1 %). Относительное содержание различных ядер остается довольно стабильным во времени, за исключением области малых энергий ($\epsilon \leq 10$ МэВ/нуклон), где потоки ядер тяжелее гелия зависят от уровня солнечной активности.

До поверхности Земли не доходит ни одна первичная частица (независимо от ее энергии). В земной атмосфере первичный поток ГКЛ существенно преобразуется за счет столкновений с ядрами азота, кислорода и других газов. Разрушение атомов воздуха при таких столкновениях порождает каскад вторичных частиц – протонов, нейтронов, π - и μ -мезонов, электронов и т. д. Интенсивность вторичных частиц нарастает с глубиной лавинообразно. Достигнув максимума примерно на высоте 25 км, вторичные компоненты начинают поглощаться по определённому закону по мере углубления в атмосферу. Важнейшими вторичными компонентами являются протонно-нейтронная (нуклонная) и μ - мезонная (мюонная). Последняя обладает большой проникающей способностью (вплоть до подземных глубин более 1500 м водного эквивалента). В нуклонной компоненте преобладают нейтроны (больше 86 %), поэтому ее чаще называют нейтронной. Эта компонента чувствительна к потоку первичных частиц с энергией $\epsilon = 10^9 + 10^{10}$ эВ, мюонная – к частицам с $\epsilon > 10^{10}$ эВ.

СКЛ, источником которых являются солнечные вспышки, значительно отличаются от ГКЛ. Диапазон энергий (10 – 1Сг° эВ) гораздо уже, чем у ГКЛ. В потоке СКЛ протоны обычно составляют более 90 %, α -частицы – чуть меньше 10 %, а доля более тяжелых ядер в отличие от ГКЛ не превышает 0,1 %. Но самая отличительная особенность СКЛ – внезапность, а следовательно, непредсказуемость их появления у Земли. После мощных солнечных вспышек поток вторичных нейтронов на поверхности Земли может за полчаса возрасти на 100 – 1000 % относительно невозмущенного потока, создаваемого ГКЛ, как это случилось, например 23.11.1956 г. В начальный период

поток СКЛ у Земли резко анизотропен, а после достижения максимума становится близким к изотропному. Спад интенсивности СКЛ до уровня ГКЛ может продолжаться десятки часов.

На рис. 2.9 показано распределение по энергиям частиц различного происхождения в межпланетном пространстве [3]. Спектры протонов СКЛ (кривая 2) и ГКЛ (кривая 3) заметно различаются по интенсивности частиц и крутизне наклона. На рис. 2.10 приведен также спектр протонов и α -частиц солнечного ветра – непрерывного потока плазмы из солнечной короны. Солнечный ветер является основным переносчиком возмущений от Солнца к Земле. От его мощности зависит, в частности, уровень возмущённости геомагнитного поля. Магнитные поля, вмороженные в солнечный ветер, рассеивают поток космических лучей, вызывая заметные вариации их интенсивности. Таким образом, вариации солнечной активности, геомагнитной возмущенности и потока космических лучей оказываются тесно связанными между собой.

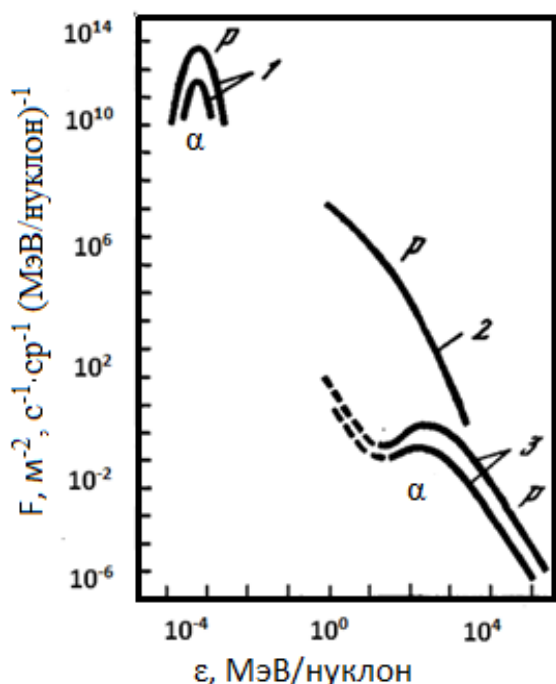


Рис. 2.9. Дифференциальный энергетический спектр протонов p и альфа-частиц α в межпланетном пространстве [3]: 1 – солнечный ветер, 2 – протоны солнечных вспышек, 3 – галактические космические лучи

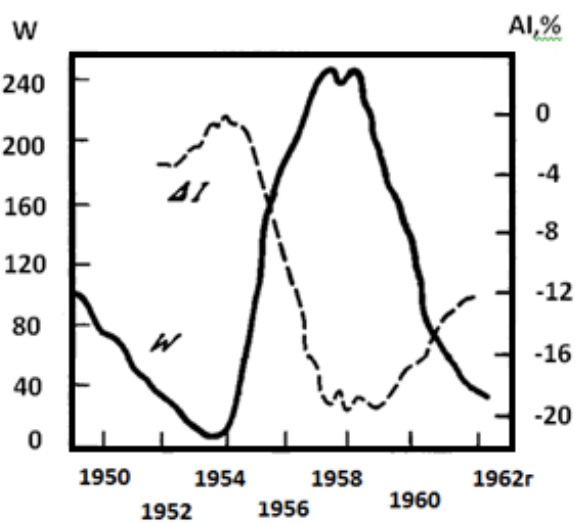


Рис. 2.10. Изменение интенсивности ΔI галактических космических лучей в процентах к максимальному уровню и 11-летний цикл солнечной активности (по числу пятен W) [1]

Очевидно, биосфера Земли успешно приспособилась к космическим лучам. Однако механизм приспособления далеко не очевиден, и его изучение представляет несомненный интерес для понимания эволюции и прогнозирования будущего биосферы [4, 5].

Прямых доказательств гипотезы о решающей роли ионизирующих излучений в эволюции биосферы пока нет. Более того, имеются данные об исключительных способностях адаптации некоторых живых существ к высокому уровню радиации.

В эволюционном аспекте радиационный фон на поверхности Земли зависит от частоты вспышек сверхновых звезд (основного источника ГКЛ), частоты инверсий (переплюсовок) геомагнитного поля (при «исчезновении» магнитного поля облучение Земли космическими частицами усиливается) и частоты мощных вспышек СКЛ.

Доза радиации на уровне моря на широте $50^{\circ}N$ в настоящее время равна $\sim 2,5 \cdot 10^{-4}$ Дж/кг · год) [4]. Скорость изменения дозы за счет уменьшения геомагнитного поля при инверсии составляет примерно 0,001 % в год, тогда как за счет изменения солнечной активности в 2-летнем цикле – около 0,4 % в год. Самая мощная из вспышек СКЛ 23.02.1956 г. вызвала на геомагнитной широте $79,9^{\circ}N$ возрастание потока мюонов, эквивалентное удвоению дозы от ГКЛ за 2 часа. Соответствующее возрастание в нейтронной компоненте на геомагнитной широте $52^{\circ}N$ было эквивалентно удвоению потока нейтронов на уровне моря за 12 часов. Но даже и в этом случае доза радиации мала по сравнению с дозой от мюонов. Таким образом, вклад СКЛ в среднюю дозу на уровне моря при нулевом геомагнитном поле согласно оценкам [4] пренебрежимо мал.

Что касается частиц радиационных поясов ($\epsilon < 90$ МэВ) и солнечного ветра ($\epsilon \leq 10^4$ эВ), то они не представляют опасности для биосферы даже при нулевом ГМП. Не опасны в генетическом аспекте и радиоактивные изотопы, образованные в атмосфере космическими лучами (см., например, [4]).

Можно проанализировать относительный вклад КЛ в космобиологическую ситуацию на Земле. Чтобы оценить биоэффективность

космических лучей, необходимо рассмотреть их относительный вклад в космобиологическую ситуацию [2], создаваемую в заданной точке пространства (в космосе, атмосфере, на поверхности Земли и т. д.) совокупностью всех космофизических факторов. Среди последних отметим в первую очередь гравитационное притяжение Солнца, Земли и Луны, тепловое излучение Солнца, осевое вращение Земли (суточные ритмы геофизических параметров), движение Земли вокруг Солнца (смена сезонов).

Не менее важное, но также опосредованное влияние космос может оказывать на биосферу через метеофакторы (давление, температуру, влажность воздуха и т. д.) и особо опасные метеоявления (ураган, наводнение, засуха и др.).

Еще сложнее (и поэтому опаснее) более «тонкие» воздействия космоса, возможные на уровне различных систем живого организма (сердечно-сосудистой, кроветворной, нервной и т. д.) за счёт излучений и электромагнитных полей космического происхождения [7].

К последней группе факторов следует отнести солнечную активность (пятна, вспышки, выбросы вещества, солнечный ветер, СКЛ, электромагнитное излучение Солнца и т. д.) и ее земные проявления (геомагнитные и ионосферные возмущения, вариации космических лучей, нарушения атмосферной циркуляции и др.). Уже из этого перечня видно, насколько сложной, «многоэтажной» может быть иерархия космических воздействий на биосферу. Эффект воздействия будет зависеть от того, какой из факторов вносит наибольший вклад в космобиологическую ситуацию в данный момент времени в определенной точке пространства. Это видно, в частности, на примере космических лучей. У поверхности Земли они практически не опасны для человека, тогда как в открытом космосе существует реальная опасность облучения, особенно во время солнечных вспышек. Относительный вклад космических лучей в космобиологическую ситуацию зависит от амплитуды вариаций их потока при изменениях солнечной активности и состояния магнитосферы и атмосферы Земли.

При усилении солнечной активности поток ГКЛ у Земли ослабевает, а при ослаблении, наоборот, – растет. Это хорошо видно на примере 11-летней вариации потока ГКЛ (рис. 2.11), которая находится в противофазе с 11-летним циклом числа солнечных пятен. Амплитуда этой вариации у поверхности Земли может достигать ~ 20 % для мюонов и ~ 30 % для нейтронов. Другие вариации ГКЛ межпланетного происхождения, как правило, значительно меньше.

В геомагнитном поле происходит сепарация ГКЛ по зарядам и энергиям, начиная с энергии 20 ГэВ и меньше. Сильнее всего отклоняющее действие геомагнитного поля проявляется вблизи экватора. Поэтому вклад ГКЛ в радиационный фон у поверхности Земли минимален на экваторе и достигает максимума на геомагнитных широтах выше 60°. Вариации ГКЛ, связанные с возмущениями геомагнитного поля, невелики и не более 10 %.

Изменения температуры и давления атмосферы вызывают вариации потока вторичных частиц на величины порядка – (0,1 – 0,2) %/°С (для мюонов) и –0,7 %/мбар (для нейтронов) соответственно (минус означает, что поток частиц падает (растет) при повышении (понижении) температуры или давления воздуха).

Таким образом, относительный вклад вариаций ГКЛ в космобиологическую ситуацию на поверхности Земли, по-видимому, мал. Вме-

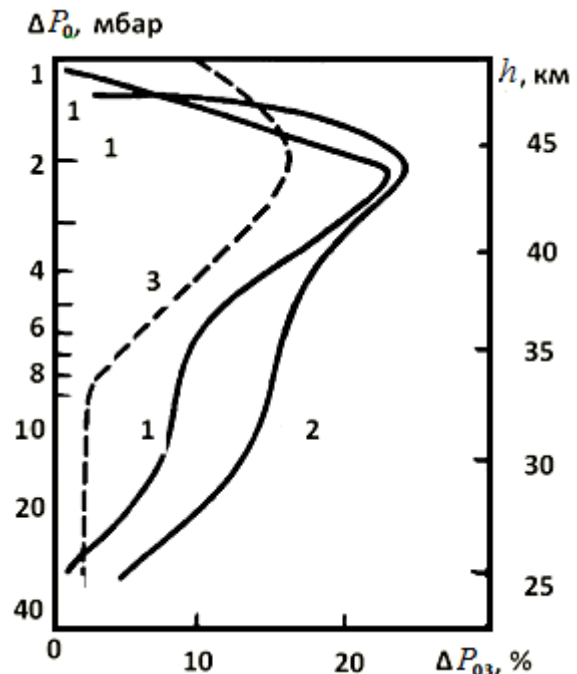


Рис. 2.11. Процентное уменьшение парциального давления озона по отношению к усредненному уровню за семь дней, предшествовавших вспышке 04.08.1972 г., как функция давления воздуха p_v [8] 1, 2-е – через 8 и 19 дней после протонного события, 3-е расчетное уменьшение содержания озона спустя 28 дней после вспышки

сте с тем нельзя пренебрегать косвенным вкладом космических лучей (особенно СКЛ) в некоторые геофизические процессы, важные для существования биосферы.

Опосредованное влияние КЛ на биосферу за счет их воздействия на верхние слои атмосферы (опустошение озонового слоя, образование радио-углерода и т. д.) заслуживает особого внимания. В работе [6] был предложен механизм косвенного воздействия СКЛ на биосферу. Ионизация, производимая в стратосфере частицами СКЛ, приводит к образованию окиси азота. Несколько мощных вспышек СКЛ в течение года могут произвести такое же количество окиси азота, какое дает главный ее источник (окисление двуокиси азота), и значительно больше того, что дают ГКЛ. При этом окись азота эффективно разрушает атмосферный озон, тем самым уменьшая надежность озоновой защиты биосферы Земли от ультрафиолетового излучения Солнца. Хотя самое мощное возрастание потока СКЛ длится не более суток, время существования окиси азота в стратосфере велико, а ее воздействие на озоновый слой продолжается, вероятно, несколько лет.

Эффект воздействия СКЛ на озоновый слой получил первое экспериментальное подтверждение в работе [8]: во время вспышки 4 августа 1972 г. было зарегистрировано значительное (до 25 %) понижение содержания озонового слоя в полярной стратосфере в интервале широт 75 – 80°.

На рис. 2.11 хорошо видна временная динамика этого эффекта: опустошение слоя, как и следовало ожидать, происходило с некоторой задержкой относительно вспышки СКЛ, а восстановление до невозмущенного состояния требовало заведомо больше месяца. В этой связи уместно заметить, что хотя наблюдаемая частота наиболее мощных вспышек бывает 1 – 2 случая в год, современные гелиофизические данные не исключают возможности появления сверхмощных вспышек при экстремально высокой солнечной активности [9].

Непосредственное отношение к обсуждаемому вопросу имеют результаты измерений [10] прямой солнечной радиации в 1966 – 1970 гг. В указанный период солнечная активность повышалась от минимума

1965 г. до максимума 1969 – 1970 гг., что нашло отражение, в частности, в повышении частоты вторжений СКЛ в стратосферу. Авторы [10] обнаружили плавную зависимость солнечной постоянной от солнечной активности, причем амплитуда вариации не превышала 1,2 %, а максимум ее достигался при среднем уровне активности (при этом были исключены антропогенные воздействия на солнечную постоянную в период 1961 – 1967 гг.).

Наличие зависимости солнечной постоянной от чисел Вольфа можно объяснить совместным действием СКЛ и ГКЛ. Дело в том, что воздействия СКЛ и ГКЛ разделяются как по времени (различные периоды солнечной активности), так и по высотам. Основное поглощение ГКЛ происходит на высотах 9 – 16 км, где находятся локальный минимум концентрации водяного пара и локальный максимум концентрации двуокиси азота. В то же время максимум поглощения СКЛ (благодаря их меньшей средней энергии по сравнению с ГКЛ) расположен на высотах 35 – 40 км, где находится максимум отношения концентраций двуокиси и окиси азота. В свете этих данных уменьшение солнечной постоянной при высокой солнечной активности приписывают эффекту вторжения СКЛ. С другой стороны, снижение солнечной постоянной при слабой активности вызвано, по-видимому, воздействием ГКЛ, интенсивность которых растет при уменьшении солнечной активности. Таким образом, космические лучи, изменяя состав атмосферы, в конечном счете активно участвуют в преобразовании солнечной радиации с длиной волны 3300 – 3500 Å (330 – 350 нм) в тепло (за счет «парникового эффекта», т. е. поглощения этих волн молекулами двуокиси азота и переизлучения их энергии в инфракрасном диапазоне).

Добавим к этому, что изменение полного содержания озона в атмосфере на 25 % может привести, по некоторым оценкам [11], к изменению средней температуры на уровне моря на 1 °С, т. е. на величину, достаточную для того, чтобы вызвать заметные климатические изменения. Подобную точку зрения разделяют и другие исследовате-

ли. В частности, авторы [10] в результате детального исследования влияния космических лучей на атмосферные процессы пришли к следующим выводам:

1) одним из агентов, переносящих возмущения из космоса в тропосферу, является излучение СКЛ и ГКЛ с энергией выше 10^8 эВ;

2) несмотря на малую величину энергии, вносимой в атмосферу Земли космическими лучами, они стимулируют развитие высотных циклонов, воздействуя таким способом на общую циркуляцию атмосферы, погоду и климат (подробнее о геофизических эффектах СКЛ (см. обзор [10]).

Таким образом, в настоящее время имеются теоретические и экспериментальные предпосылки для комплексного анализа роли вариаций космических лучей в биологических процессах на Земле.

Вопрос о возможных путях их воздействия и механизмах адаптации организмов к космической радиации далек от окончательного решения. Эффекты, сопровождающие инверсию ГМП, по-видимому, следует рассматривать как отдельные компоненты общего стресса окружающей среды, воздействующего на данный биологический вид.

В связи с развитием гелиомагнитобиологии вопрос о причинах вымирания организмов в далёком прошлом Земли приобретает принципиальное значение. Выяснение роли космических, геологических, климатических и других возможных факторов в эволюции биосферы представляется весьма актуальным также и для решения проблемы сохранения окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. Мирошниченко Л. И. Космические лучи в межпланетном пространстве. М. : Наука, 1973. 158 с.

2. *Она же*. Биологические эффекты космических лучей // Мутагенез при действии физических факторов. М. : Наука, 1980. С. 187 – 205.

3. Вернов С. Н., Логачев Ю. И., Писаренко Н. Л. Физические характеристики межпланетного пространства // Основы космической медицины. М. : Наука, 1975. Т. 1. С. 47 – 118.
4. Чечев В. П., Краморовский Я. М. Радиоактивность и эволюция вселенной. М. : Наука, 1978. 207 с.
5. Степанов А. М. Эволюционный подход к определению генетически значимых доз радиации // Мутагенез при действии физических факторов. М. : Наука, 1980. С. 176 – 186.
6. Influence of ancient solar proton events on the evolutions of life / G. C. Reid [et al.]. Nature. 1979. Vol. 259. № 5540. P. 177 – 179.
7. Владимирский Б. М. Активные процессы на Солнце и биосфера // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1977. Т. 41. № 2. С. 403 – 410.
8. Heath D. F., Krueger A. J., Crutzen P. J. Solar proton events: Influence of stratospheric ozone // Science. 1997. Vol. 197. № 4306. P. 886 – 889.
9. Uakurai K. The nature of solar activity and its relations of solar cosmic-ray production // Astrophys. And SpaseSci. 1979. Vol. 63. № 2. P. 369 – 378.
10. Кондратьев К. Я., Никольский Г. А. Солнечная активность и климат // Доклады АН СССР. 1978. Т. 243. № 3. С. 607 – 610.
11. Black D. I. Cosmic ray effects and faunal extinctions at geomagnetic field reversals // Earth and Planet. Sci. Lett. 1967. Vol. 3. P. 225 – 236.

2.7. Современные представления о взаимосвязи биологических и геофизических ритмов

Колебательные процессы, происходящие в живой природе, есть основное условие существования и сохранения жизни на земле. Вне собственного времени все живое не смогло бы существовать и воспроизводиться. Любое взаимодействие в природе проявляется постольку, поскольку вписано в колебание. По сути, колебание и есть взаимодействие. Один цикл колебания выступает как универсальный «атом» взаимодействия. Колебание выступает как единый универ-

сальный принцип построения всего сущего, как единый универсальный закон мироздания. Цикличность является феноменом фундаментального значения.

Ю. В. Яковец [1] считает, что цикличность – всеобщая (но не единственная) закономерность движения, саморазвития в природе, обществе и в поле взаимодействия. Траектория динамики каждого цикла в любой сфере складывается под сильным и слабым взаимодействием. Некоторые виды циклов порождаются этим взаимодействием циклов в смежных или отдаленных сферах, например, демографические и экологические. Взаимодействие объединяет спираль коэволюции природы и общества (рис. 2.12).

Совокупность циклов организует ритмичность, если их продолжительность одинаковая. Внутри каждого цикла возможны другие, менее продолжительные циклы (или ритмы). Цикл может быть последовательностью: зарождение – развитие – апогей – спад – завершение – снова зарождение и т. д. Примеры *ритмичной цикличности* – суточный и годовой циклы (например, в температуре воздуха), менее выражен цикл солнечной активности. Пример *неритмичной цикличности* – циклы в росте народонаселения, когда каждый последующий цикл короче предыдущего.

Множество явлений, ранее считавшихся хаотичными и случайными, характеризуются упорядоченностью, правильностью и четкой основой. В этой непрерывной взаимосвязи хаоса и порядка невозможна линейная детерминированность.

Цикличность биологических функций на всех уровнях – одно из условий существования живых организмов и рассматривается как одно из неперменных свойств живой материи, неотъемлемое ее качество. Выработанная всем ходом эволюции временная последовательность взаимодействия различных функциональных систем организма с окружающей средой способствует гармоничному согласованию, настройке разных колебательных процессов на один лад и тем самым обеспечивает нормальную жизнедеятельность целостного организма.

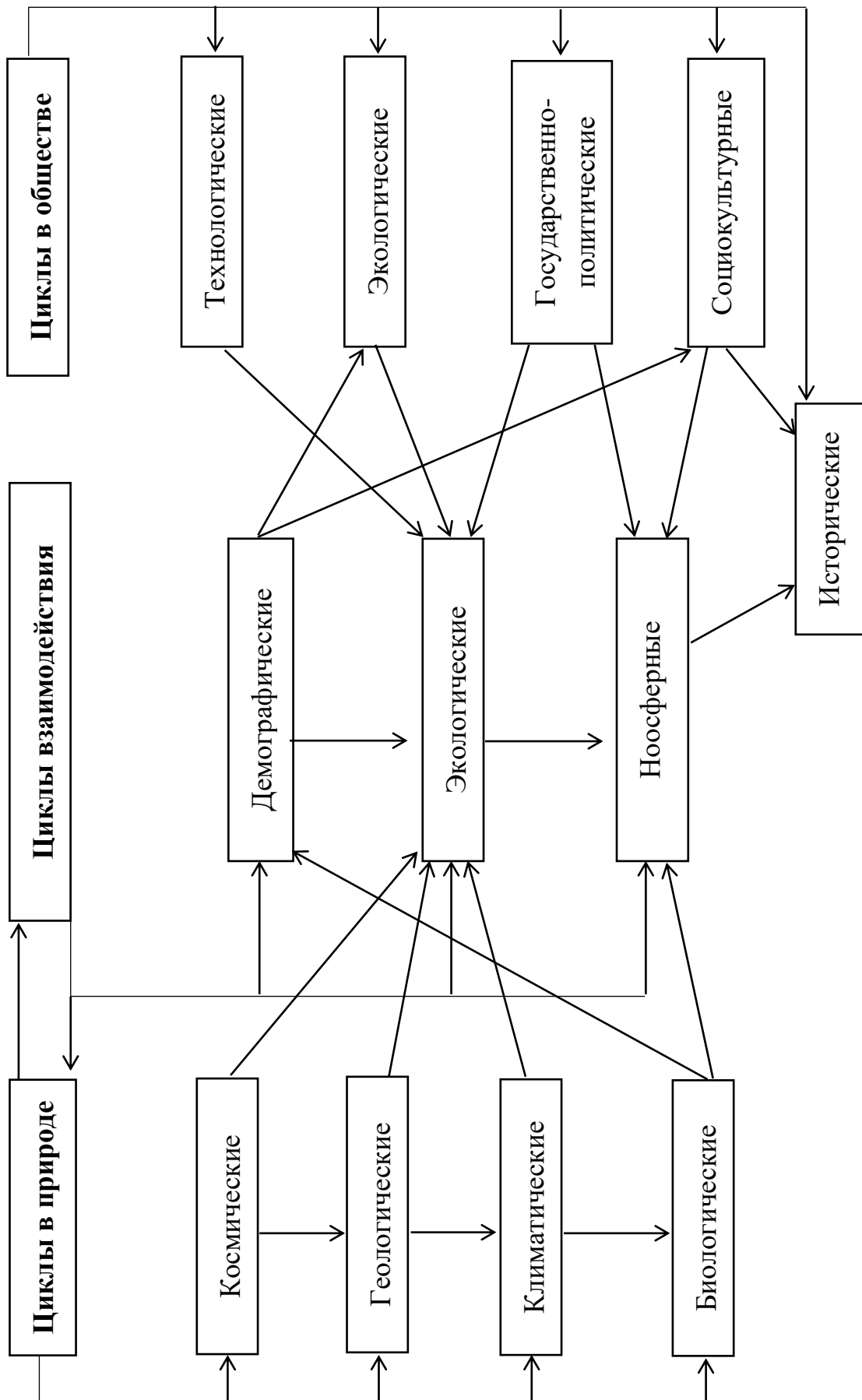


Рис. 2.12. Виды и взаимодействия циклов

В настоящее время накоплен огромный фактический материал исследований о циклических процессах и живых системах. Понимание и правильная интерпретация различных физиологических процессов, происходящих в живом организме, невозможны без знания природы биологических ритмов.

Спектр всевозможных ритмов жизни охватывает практически весь доступный диапазон масштабов времени – от волновых свойств элементарных частиц до глобальных циклов биосферы (рис. 2.13) [2].

Удивительно то, что имеет место синхронизация биохимических и биофизических процессов, протекающих в разных организмах. Все живое на Земле зависит от колебательных процессов, которые протекают в окружающей среде, причем как в астрономической, так и геофизической, синхронно с вращением Земли, Луны, изменением активности Солнца, колебаниями атмосферного давления, магнитного поля и космического излучения. Наконец, все живое в процессе эволюции и адаптации приспособилось к колебательным процессам, которые происходят во внешней среде [3]. Следовательно, синхронность также следует рассматривать как фундаментальное свойство живого. Эта же мысль может иметь иную редакцию: все живое существует благодаря синхронизации колебательных процессов, которые протекают как в организмах, так и за пределами.

Факторы, которые влияют на ритмичность процессов, происходящих в живом организме, названы синхронизаторами. Они определяются как периодические экзогенные сигналы, используемые организмом для калибровки периода внутренних биологических часов. Нас окружают многочисленные физические и социальные синхронизаторы – процессы и явления, способствующие наилучшему согласованию ритмов организма окружающей среды.

К физическим синхронизаторам относятся смена дня и ночи с чередованием света и темноты, длительность дневного фотопериода, суточные колебания температуры, влажности воздуха, барометрического давления, напряженности электрического и магнитного полей Земли. На суточную периодичность влияют около сорока только метеорологических факторов.

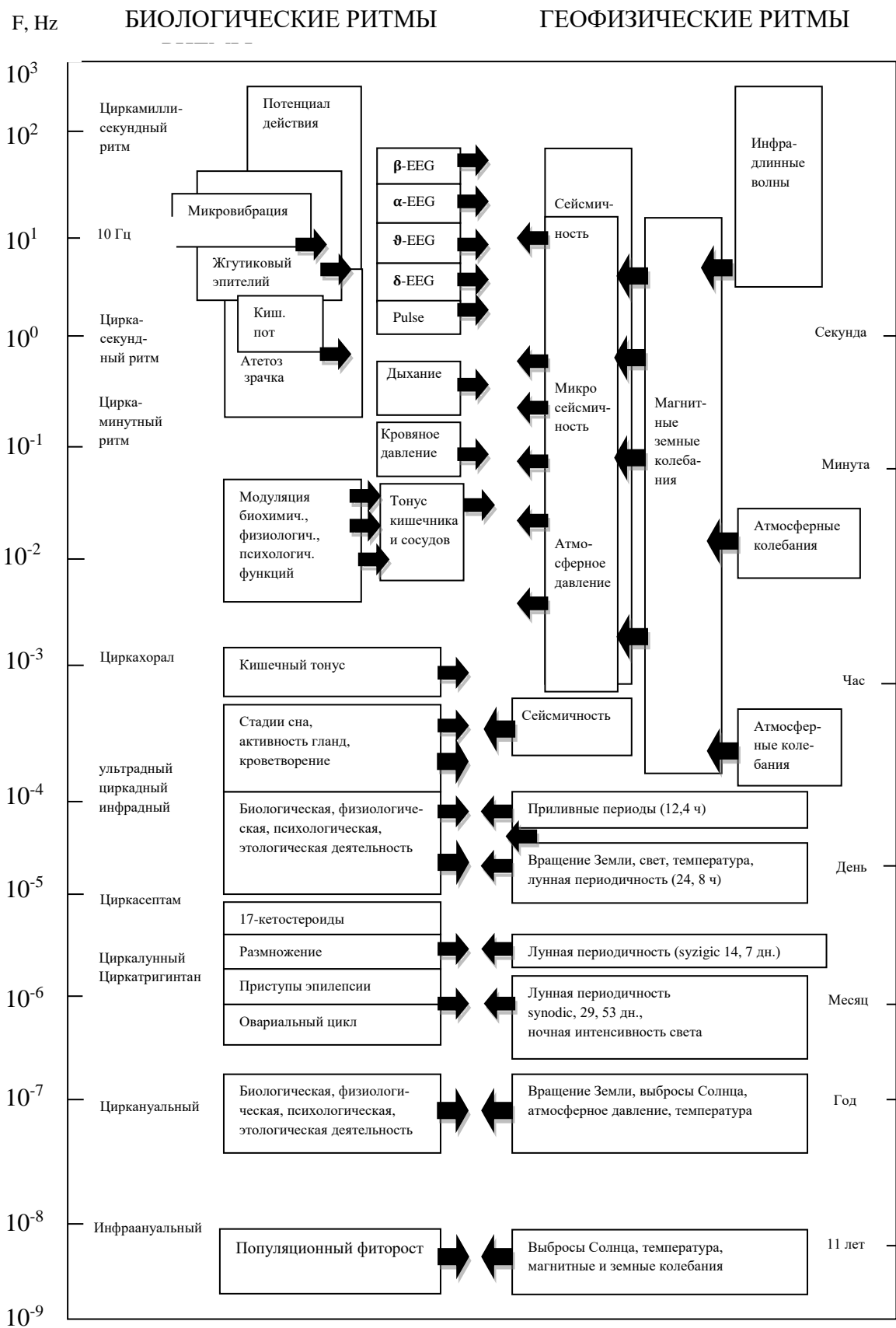


Рис. 2.13. Биологические и геофизические ритмы в природе

Социальные датчики времени сами по себе не способны синхронизировать суточные ритмы даже у полностью слепых людей, без остаточного зрения. Биологические ритмы у таких людей не синхронизируются и внешним освещением: их собственные ритмы испытывают свободнотекущий фазовый дрейф по отношению к внешнему солнечному времени, несмотря на четкий рабочий режим дня [4].

Принцип синхронизации имеет универсальное значение для всех уровней интеграции биологических систем. Именно синхронизация ритмов определяет возможность пространственно-временной самоорганизации крайне разнообразных типов систем, в том числе высокоорганизованных систем живой природы. Она является интегральным свойством, т. е. свойством, не наблюдаемым при изолированном исследовании отдельных колебательных элементов. На любом уровне биологической организации синхронизация оказывается универсальным системообразующим фактором. Поскольку ритмические процессы внешней среды используются организмами для синхронизации биологических ритмов, изменения внешних условий даже с малой амплитудой колебаний могут быть существенным фактором, триггером, усиливающим или ослабляющим биоритм. Взаимодействие может носить резонансный характер и оказывать существенное влияние на организмы.

Во время электромагнитных возмущений (особенно магнитных бурь), когда разрушается ритмозадающая организация внешней среды, наблюдаются нарушения биологических ритмов [5]. Как показал В. О. Шуман, в электромагнитном поле Земли в диапазоне от единиц герц до 30 Гц наблюдаются излучения в виде фиксированных частот. Наличие этих резонансных частот обусловлено тем, что поверхность Земли совместно с ионосферой образует полый резонатор. Согласно теоретическим и экспериментальным данным в резонаторе Земля – ионосфера при спокойном состоянии Солнца присутствуют резонансные частоты, равные 8, 14, 20, 26 и 32 Гц. Шумановские волны с ос-

новой частотой 7,8 Гц, имеющие 24-часовую гармонику, влияют на циркадианный ритм организма. Они содержат также большое число высших гармоник, на которые реагирует вегетативная нервная система. В эту же полосу частот входят основные ритмы электроэнцефалограммы, в том числе альфа-ритм.

Исследование ритмов гелиогеомагнитной активности и их роли в синхронизации ритмов биологических объектов [6] вызвало следующее:

- ритмы инфарктов миокарда с периодами в диапазоне 27 – 29 дней находятся в фазе с ритмами солнечной активности. Ритмы смертности от инфарктов миокарда в околонедельной области, скорее всего, имеют максимальные амплитуды на нисходящих ветвях циклов солнечной активности;

W. B. White [7] выделяет три ключевых компонента формирования временной биологической структуры:

- эндогенные, генетически обусловленные колебания физиологических процессов;
- фоторецепторные клетки, посредством которых происходит синхронизация внутренних осцилляций с циклом свет – темнота;
- нейроэндокринные и нервные эффекторы, важнейшими из которых являются клетки эпифиза пинеалоциты и синтезируемый ими мелатонин.

Представление об эндогенности биологических ритмов возникло в науке не сразу, а в ходе острых дискуссий об их природе.

Анализируя в 1880 г. свои первые наблюдения, Ч. Дарвин даже не мог предположить, что эндогенный суточный режим может служить фактором естественного отбора. Этот вопрос встал позднее, после фундаментальных исследований, в которых было доказано, что эндогенные суточные ритмы и отклонения от 24-часового периода являются не только фактором изменчивости, но и частично

передаются по наследству. Правда, некоторые специалисты указывают на возможное отрицательное значение такого рода факторов отбора для людей при воздушных перелетах на трансмеридиональных линиях и при межпланетных полетах в условиях космического пространства.

Хотя биологические ритмы и являются эндогенными, некоторые ученые считают, что они формировались в процессе эволюции под влиянием космической ритмики, которая опосредуется, главным образом, через ритмические вариации естественных электромагнитных полей низких и сверхнизких частот. Кроме того, ритмические колебания электромагнитного фона окружающей среды выступают, при уже сформированных ритмах, в качестве наиболее важных датчиков времени, причем для синхронизации достаточно очень слабого сигнала: происходит «затягивание», или «захват», близкой частоты. Поэтому периодичность процессов в живых организмах рассматривается как отзвук периодичности макромира.

На кафедре общей и прикладной физики Владимирского государственного университета с 2000 года ведутся работы по изучению взаимосвязи геофизических факторов (электрическое поле, геомагнитное поле, метеопараметры) и показателей здоровья человека, в том числе его биоритмов. Исследования взаимосвязи обращаемости детей с заболеваниями органов дыхания с геофизическими характеристиками осуществлялись с использованием баз данных Управления Роспотребнадзора по Владимирской области и баз данных результатов мониторинга электрического поля, температуры воздуха, атмосферного давления и относительной влажности физического экспериментального полигона ВлГУ [8 – 15].

Совпадение биологических ритмов и периодов геофизических процессов, проанализированное нами по результатам исследований биоритмов и геофизических ритмов, представлено на рис. 2.14.

Геофизические ритмы	Период	Частота, Гц	Биофизические ритмы	Период	Частота, Гц
Солнечно-суточный ритм	24 ч	$1,157407 \cdot 10^{-5}$	Сон/ пробуждение Метаболическая активность Накопление и выведение	24 ч	$1,157407 \cdot 10^{-5}$
Период вращения Солнца	27 суток	$4,28632662 \cdot 10^{-7}$	27-дневная цикличность в показателях смертности от некоторых заболеваний, сопряженная с магнитной возмущенностью	27 суток	$4,28632662 \cdot 10^{-9}$
Новолуние и полнолуние	14,75 суток	$7,84682988 \cdot 10^{-7}$	Обострение эпилепсии, увеличение припадков Обострение сомнамбулизма	14,75 суток	$1,96155355 \cdot 10^{-7}$
(Синодический период + + Сидерический период): $2 \cdot 10 = 10T_2$	284,261 суток	$4,07163630 \cdot 10^{-8}$	Перинатальный период, в огромном большинстве случаев	284,261 суток	$4,07163630 \cdot 10^{-8}$
Колебания оси вращения Земли	7 лет	$4,52696637 \cdot 10^{-9}$	Заболееваемость и обострения течения шизофрении показывают тенденцию к повторению Творческая активность человека	5 – 10 лет 6 лет	$6,3419584 \cdot 10^{-9}$ $1,26839168 \cdot 10^{-8}$ $5,28496533 \cdot 10^{-9}$
Период смены фаз Луны	29,5 суток	$3,9231071 \cdot 10^{-7}$	28-суточная периодичность в обострении неврологических заболеваний, течении маниакально-депрессивных психозов, приступов эпилепсии, мигрени, неврастении, периодических параличей, истерических припадков, явлений алкогольного запоя	28 суток	$4,13359788 \cdot 10^{-7}$
Период обращения Луны вокруг Земли	27,3 суток	$4,23958757 \cdot 10^{-7}$			
Цикл геомагнитной возмущенности	11,7 года	$2,70855905 \cdot 10^{-10}$	Структура цикличности коклюша	11,2 года	$2,83123143 \cdot 10^{-9}$
Полярное сияние – циклическое явление, которое доходит до своего пика каждые 11 лет	11 лет	$2,88101412 \cdot 10^{-9}$			
Период смены фаз Луны	29,5 суток	$3,9231071 \cdot 10^{-7}$	Женский биологический цикл	28 – 35 суток	$4,45156695 \cdot 10^{-7}$ $3,30687831 \cdot 10^{-7}$
Период обращения Луны вокруг Земли	27,3 суток	$4,23908436 \cdot 10^{-7}$			
Цикл солнечной активности	11 лет	$2,88101412 \cdot 10^{-9}$			
Основной период колебаний конвективной зоны Солнца, изменение напряженности общего поля Солнца	22 года	$1,44135418 \cdot 10^{-9}$			
Колебания среднегодовых температур	14 лет	$2,26498514 \cdot 10^{-9}$			

Рис. 2.14. Совпадение биологических ритмов и периодов геофизических процессов

Заключение к главе

Наличие корреляционных связей между индексами солнечной активности и некоторыми явлениями в биосфере (стихийно протекающие эпидемии и эпизоотии, статистика смертности) было установлено еще в 20-х гг. XX столетия А. Л. Чижевским. Связь с уровнем солнечной активности такого физиологического показателя у человека, как концентрация лейкоцитов периферической крови, была установлена Н. А. Шульцем. Все основные особенности связи медико-биологических явлений с солнечной активностью обусловлены тем, что живые организмы чувствительны к амплитудно-спектральным изменениям ЭМП в широком диапазоне деятельности Солнца и прилегающем к нему диапазону звуковых частот. Биологические эффекты ИНЧ ЭМП малой напряженности привлекли внимание после надежного обнаружения нетепловых эффектов биологического действия ЭМП в широком диапазоне частот и экологической значимости фоновых ЭМП. Схема механизма влияния солнечной активности на биологические явления: возмущение на Солнце (например, мощная хромосферная вспышка) – возмущение магнитосферы и плазмосферы Земли (магнитная буря с внезапным началом) – изменение спектра ЭМП на поверхности Земли в области инфранизких частот – сдвиги в физиологических показателях организма (реакция на изменение внешней среды). Атмосферные инфразвуки – еще один фактор-посредник, реализующий влияние солнечной активности на явления в биосфере. Экспериментальные данные определенно указывают на экологическую значимость естественного ЭМП Земли в диапазоне инфранизких частот.

Несмотря на непрерывно происходящие изменения во внешней среде, в том числе и электромагнитной обстановке, в организме поддерживается относительное динамическое постоянство внутренней среды – гомеостазис, что является необходимым условием существования организма. В основе приспособительной деятельности организма лежит количественно-качественный принцип: на различную интенсивность раздражающего фактора организм отвечает различным качеством адаптационной реакции. В подкорковых отделах мозга, главным образом в гипоталамусе, формируется тип ответа, который

определяет развитие той или иной адаптационной реакции в организме, что осуществляется через подчиненные системы организма нервным и гуморальным путями. Триады адаптационных реакций: тренировка – активация – стресс. Закрепившаяся в эволюционном процессе сложная периодичная количественно-качественная зависимость в развитии общих адаптационных реакций обеспечивает тонкую и чувствительную систему приспособления даже к небольшим количественным изменениям ЭМП в широком диапазоне значений, в том числе и к ГМП, в котором организм непрерывно функционирует.

Теоретически воздействие ЭМП на ритм может быть трех видов:

1. ЭМП влияют на организм в целом, но не на сам генератор биологического ритма. Воздействие ЭМП может быть и информационным, при этом изменяются также и параметры биологического ритма, его частота и (или) амплитуда аналогично тому, как зависит частота пульсаций сердца от уровня постоянной температуры тела или от «сигнала тревоги». Частота биологического ритма не должна строго следовать за частотой ЭМП в определенном диапазоне. В некоторых случаях возможны даже синхронные изменения частот биологического ритма и ЭМП (как в примере с воздействием на частоту пульсаций сердца стабильного уровня температуры).

2. ЭМП влияют только на внешние проявления ритма, на так называемые индикаторные процессы, но не на сам генератор биологического ритма. При этом усиление ЭМП или экранирование от него должны приводить к изменению амплитуды наблюдаемого биологического ритма вплоть до его исчезновения, но не отражаться на частоте ритма.

3. ЭМИ влияют на сам генератор и являются датчиком времени, в данном случае связь между биологическими ритмами и ЭМП определяется закономерностям сложения нелинейных колебаний.

Наблюдения над многодневными биоритмами привели к появлению так называемой теории физических, эмоциональных и интеллектуальных биоритмов.

Влияние Луны на биоритмы:

1. Если многодневные биоритмы связаны с движением Луны, то период T_g в среднем удачно характеризует это движение.

2. Длительность 13 больших биологических циклов (3233,5 суток) практически совпадает с периодом движения перигея (3232,6 суток), т. е. введение большого биологического цикла также оправданно.

3. Девятая часть большого биологического цикла (27,4 суток) практически совпадает с длительностью аномалистического месяца.

4. T_1 , T_2 , T_3 близки к установленным экспериментально 23-, 28- и 33-суточным периодам.

5. Длительность 10 $T_2 = 284,3$ суток практически совпадает со средней продолжительностью нормальной беременности, составляющей согласно современным данным 280 – 285 суток.

6. Длительность 5 $T_2 = 142,1$ суток близка к сроку первого шевеления плода (в среднем на 140-м дне беременности).

7. Недостаточно корректное использование периода T_0 и введение периода T_2 , учитывающего сидерическое движение Луны, подтверждается аналогичными результатами для циркадных ритмов: имеются данные о наземных организмах, у которых обнаружены колебания биоритмов, связанные со звездными сутками.

8. Таким образом, решение вопроса о механизмах селенобиологических связей тесно связано с современными проблемами космической метеорологии, биометеорологии, гравитационной биологии и вообще с проблемами влияния слабых внешних полей на биологические объекты. Для разработки механизмов могут оказаться пригодными модели, основанные на представлениях и методах физики твердого тела.

Контрольные вопросы

1. Какие физиологические показатели человека связаны с солнечной активностью?

2. Какова схема механизма влияния солнечной активности на биологические явления?

3. Что такое гомеостазис?

4. На какие физиологические показатели человеческого организма оказывают воздействие различные частотные диапазоны земного электромагнитного поля?

5. Какие экспериментальные исследования, известные из литературы, проводились для оценки воздействия ЭМП на биологические ритмы?

6. Какие биоритмы организма человека имеют корреляции с вариациями геомагнитного поля?
7. В чем заключается адаптационная реакция организма человека?
8. Как влияют гелиогеофизические факторы на психофизиологическое состояние организма человека?
9. Что представляет собой триада адаптационных реакций?
10. Перечислите основные показатели влияния Луны на биоритмы.
11. Перечислите основные показатели влияния Солнца на биоритмы.

Библиографические ссылки

1. Яковец Ю. В. Взаимодействие циклов: закономерности, механизмы, модели / Атлас временных вариаций. 2002. Т. 3. С. 154 – 157.
2. Агаджанян Н. А., Радыш И. В. Биоритмы, среда обитания, здоровье : монография. М. : РУДН, 2013. 362 с.
3. Твердислов В. А., Сидорова А. Э., Яковенко Л. В. Биофизическая экология : монография. М. : URSS, 2012. 544 с.
4. Губин Г. Д., Губин Д. Г. Биологические ритмы. Тюмень : Изд-во ТГУ, 2002. 45 с.
5. Бреус Т. К., Чибисов С. М., Баевский Р. М. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды : монография. М. : Изд-во РУДН, 2002. 231 с.
6. Бреус Т. К., Рапопорт С. И. Магнитные бури: медико-биологические аспекты. М. : Советский спорт, 2003. 192 с.
7. White W. B. Blood pressure monitoring in cardiovascular medicine and therapeutics. New Jersey : Humana Press. Inc., 2001. 308 p.
8. Грунская Л. В., Лещев И. А., Сныгина И. А. Адаптация организма человека к характеристикам окружающей среды и электромагнитным полям земли // Труды международной конференции «Агаджаняновские чтения». М. : РУДН, 2016. С. 37 – 38.
9. Мониторинг электромагнитных полей инфранизкочастотного диапазона / Л. В. Грунская [и др.] // Тр. XII Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. ФРЭМЭ'2016». 04 – 07 июля 2016 г., Владимир – Суздаль. Владимир, 2016. С. 209 – 213.

10. Биоритмы человека и электромагнитное поле Земли инфранизкочастотного диапазона / Л. В. Грунская [и др.] // XII Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ'2016». 04 – 07 июля 2016 г., Владимир – Суздаль. Владимир, 2016. С. 246 – 248.

11. Лещев И. А. Грунская Л. В., Ширококов А. В. Взаимосвязь дорожно-транспортных происшествий по Владимирской области с гео- и гелиофизическими характеристиками // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2012 : материалы всерос. молодеж. конф. г. Саратов. 7 – 9 нояб. 2012 г. Саратов, 2012. С. 81 – 83.

12. Влияние электромагнитного поля пограничного слоя атмосферы на показатели здоровья человека и его биоритмы / Л. В. Грунская [и др.] // Вестник РУДН. Серия Медицина. 2012. № 7 – 14. С. 81 – 82.

13. Лещев И. А. Влияние геофизических характеристик пограничного слоя атмосферы и солнечной активности на дорожно-транспортные происшествия Владимирской области // Ломоносов-2013 : сб. тез. докл. XX междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция «Физика» 8 – 13 апр. 2013 г., Москва [Электронный ресурс]. С. 52 – 53.

14. Грунская, Л. В. Исследование воздействия гео- и гелиофизических процессов на жизнедеятельность человека в пограничном слое атмосферы // Abstracts 13-th Odessa International Astronomical Gamov Conference. Odessa, aug. 19 – 25, 2013. Odessa, 2013. P. 57 – 58.

15. Программно-аппаратный комплекс исследования электромагнитных полей пограничного слоя атмосферы / Л. В. Грунская [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 6. С. 42 – 47.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все живые организмы, начиная от простейших одноклеточных и кончая такими высокоорганизованными, как человек, обладают биологическими ритмами, которые проявляются в периодическом изменении жизнедеятельности и как самые точные часы отмеряют время.

Изучение биологических ритмов организма человека позволит научно обосновать применение лекарственных препаратов при лечении больных. Поиски исследователей направлены в основном на определение возможностей управления биоритмами с целью устранения нарушений сна.

По-видимому, большинство болезней у человека происходит вследствие нарушения ритма функционирования ряда органов и систем его организма. Поэтому изучение сна человека с позиций его биологических ритмов имеет большое значение.

Основные ритмы в природе, наложившие свой отпечаток на все живое на Земле, возникли под влиянием вращения Земли по отношению к Солнцу, Луне и звездам. Чижевский доказал, что солнечная активность обуславливает периодичность большинства биологических процессов на Земле.

По степени зависимости от внешних условий биологические ритмы подразделяются на экзогенные и эндогенные. Физиологические процессы в живых организмах тесно связаны с факторами среды. Из них первостепенную роль играют свет, температура, атмосферное давление и содержание кислорода в воздухе.

Повторяемость процессов – один из признаков жизни. Благодаря биологическим ритмам живой организм гораздо легче адаптируется к условиям внешней среды, которые регулируют длительность циклов и отдельных их фаз.

Биологические часы есть у растений, животных и человека. Установлено, что в организме человека имеется свыше 100 биологических ритмов, отражающих различные физиологические процессы. Это суточные ритмы сна и бодрствования, изменения температуры тела, работы сердечно-сосудистой системы, состава крови и т. д.

Почти все функции организма связаны с расходом энергии. В связи с этим физиологический ритм организма отражает уровень обмена веществ.

Биологические ритмы – это периодические изменения функциональной активности различных органов и подсистем организма.

Гипоталамус имеет непосредственное отношение к управлению суточным ритмом. В нем находятся центры, управляющие температурой тела, работой желез внутренней секреции, а также углеводным, водно-солевым и жировым обменом.

Периферические часы работают независимо от гипоталамуса, не связаны ни с центральными, ни с гомеостатическими часами. В них роль главного метронома могут выполнять надпочечники.

Биохимическая природа биологических часов подтверждается объемным экспериментальным материалом. Он свидетельствует о том, что работа биологических часов внутри клетки основана на чередовании напряжения и расслабления, т. е. на релаксационных колебаниях. Основа процесса отсчета времени в клетке – очень длинные молекулы ДНК, названные «хрономами».

Все основные особенности связи медико-биологических явлений с солнечной активностью обусловлены тем, что живые организмы чувствительны к амплитудно-спектральным изменениям ЭМП в широком диапазоне деятельности Солнца и примыкающем к нему диапазоне звуковых частот.

Схема механизма влияния солнечной активности на биологические явления: возмущение на Солнце (например, мощная хромосферная вспышка) – возмущение магнитосферы и плазмосферы Земли (магнитная буря с внезапным началом) – изменение спектра ЭМП на поверхности Земли в области инфранизких частот – сдвиги в физиологических показателях организма (реакция на изменение внешней среды). Экспериментальные данные определенно указывают на экологическую значимость естественного ЭМП Земли в диапазоне инфранизких частот.

Несмотря на непрерывно происходящие изменения во внешней среде, в том числе и в электромагнитной обстановке, в организме поддерживается относительное динамическое постоянство внутренней среды – гомеостазис, что является необходимым условием существования организма.

В основе приспособительной деятельности организма лежит количественно-качественный принцип: на различную интенсивность раздражающего фактора организм отвечает различным качеством

адаптационной реакции. В подкорковых отделах мозга, главным образом в гипоталамусе, формируется тип ответа, который определяет развитие той или иной адаптационной реакции в организме, что осуществляется через подчиненные системы организма нервным и гуморальным путями.

Триады адаптационных реакций: тренировка – активация – стресс. Закрепившаяся в эволюционном процессе сложная периодическая количественно-качественная зависимость в развитии общих адаптационных реакций обеспечивает тонкую и чувствительную систему приспособления даже к небольшим количественным изменениям ЭМП в широком диапазоне значений, в том числе и к ГМП, в котором организм непрерывно функционирует.

Теоретически воздействие ЭМП на ритм может быть трех видов:

1) ЭМП влияют на организм в целом, но не на сам генератор биологического ритма. Воздействие ЭМП может быть и информационным, при этом изменяются также и параметры биологического ритма, его частота и (или) амплитуда, аналогично тому, как зависит частота пульсаций сердца от уровня постоянной температуры тела или от «сигнала тревоги». Частота биологического ритма не должна строго следовать за частотой ЭМП в определенном диапазоне. В некоторых случаях возможны даже синхронные изменения частот биологического ритма и ЭМП (как в примере с воздействием на частоту пульсаций сердца стабильного уровня температуры).

2) ЭМП влияют только на внешние проявления ритма, на так называемые индикаторные процессы но не на сам генератор биологического ритма. При этом усиление ЭМП или экранирование от него должны приводить к изменению амплитуды наблюдаемого биологического ритма, вплоть до его исчезновения, но не отражаться на частоте ритма.

3) ЭМИ влияют на сам генератор и являются датчиком времени, в данном случае связь между биологическими ритмами и ЭМП определяется закономерностям сложения нелинейных колебаний.

Наблюдения над многодневными биоритмами привели к появлению так называемой теории физических, эмоциональных и интеллектуальных биоритмов.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Вторая часть учебного пособия «Геофизика и биоритмы» будет являться продолжением материала, изложенного в части 1, и содержать информацию по следующим направлениям: механизмы биологического действия электромагнитных полей геофизической природы; солнце как источник электромагнитного излучения; электромагнитное поле атмосферы Земли инфранизкочастотного диапазона; геомагнитные поля и их вариации; общие аспекты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей; практическое использование электромагнитных полей в медицине и биологии; методы измерения электрического и геомагнитного поля; применение электромагнитных полей в диагностике и терапии; исследование взаимосвязи показателей здоровья человека с геофизическими полями и солнечной активностью с помощью системы мониторинга электромагнитных полей кафедры общей и прикладной физики Владимирского государственного университета.

Автор надеется, что материалы, изложенные в пособии, помогут студентам, магистрантам, аспирантам, специализирующимся в этом направлении, разобраться в особенностях влияния биоритмов на состояние живых организмов. Дальнейшее развитие биоритмологии, биофизики и методов исследования живых объектов приведет к углублению знаний в этих областях, станет базой для того, чтобы биоритмология заняла важное место в диагностических, терапевтических и аналитических медицинских технологиях.

По ряду вопросов, связанных с развитием биоритмологии, можно порекомендовать обратиться к литературе, которая приведена автором в рекомендательном библиографическом списке.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биофизика для инженеров : учеб. пособие : в 2 т. / Е. Б. Бигдай [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – Т. 1. – 496 с. – ISBN 978-5-9912-0048-6. – Т. 2. – 456 с. – ISBN 978-5-9912-0049-3, ISBN 978-5-9912-0050-9.

2. Блехман, И. И. Синхронизация в природе и технике / И. И. Блехман. – Изд. 2-е, доп. – М. : Ленанд, 2015. – 440 с. – ISBN 978-5-9710-1456-0.

3. Тигранян, Р. Э. Вопросы электромагнитобиологии / Р. Э. Тигранян. – М. : Физматлит, 2010. – 352 с. – ISBN 978-5-9221-1197-3.

4. Коганов, В. И. Колебания и волны в природе и технике : учеб. пособие для вузов / В. И. Коганов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-9912-0008-0.

5. Владимирский, Б. М. Космическая погода и наша жизнь : монография / Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц, В. С. Мартынюк. – Фрязино : Век-2, 2004. – 224 с. – ISBN 5-85099-146-8.

6. Медико-биологические эффекты геомагнитных возмущений / Н. А. Агаджанян [и др.]. – М. : ИЗМИРАН, 2001. – 136 с. – ISBN 5-89513-004-6.

Учебное издание

ГРУНСКАЯ Любовь Валентиновна

ГЕОФИЗИКА И БИОРИТМЫ

Учебное пособие

Редактор А. А. Амирсейидова

Технический редактор А. В. Родина

Корректор О. В. Балашова

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Выпускающий редактор Е. В. Невская

Подписано в печать 18.07.18.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 10,46. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.