

Тема: **БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ И СРЕДА ОБИТАНИЯ**

Ритмичность – фундаментальная характеристика функционирования живого организма, связана механизмами обратной связи с саморегуляцией и адаптацией, достигается особенностью колебательных процессов – стремлению к синхронизации.

Значение – поддержание гомеостаза организма при изменении факторов внешней среды.

Гомеостаз – динамический ритмический процесс - *ритмостаз*, или *гомеокинез*.

Биологический ритм – периодическое повторение процесса в биологической системе через регулярные промежутки времени.

Биоритм – повторяющийся и самоподдерживающийся и самовоспроизводящийся процесс. Биологические ритмы характеризуются периодом, частотой, фазой и амплитудой колебаний.

Характеристики биоритма

Период – время между двумя одноимёнными точками в волнообразно изменяющемся процессе, продолжительность одного цикла до первого повтора.

Частота – число циклов в единицу времени.

Определяется частотой периодических процессов во внешней среде.

Амплитуда - наибольшее отклонение исследуемого показателя в какую-либо сторону от средней. Выражается через **мезор** – в % от средней величины всех её значений, полученных при регистрации ритма. Удвоенная амплитуда равна *размаху колебаний*.

Фаза – любая отдельно выделенная часть цикла, выражается в градусах. Например, если максимум одного ритма соответствует минимуму другого, то разность по фазе между ними составляет 180° .

Акрофаза – точка времени в периоде, когда отмечается максимальное значение исследуемого показателя.

При регистрации акрофазы (*батыфазы*) в течение нескольких циклов время ее наступления варьирует – *зона блуждания фазы*.

Циркадианное правило: для дневных организмов характерна положительная корреляция между освещённостью и частотой циркадианного ритма, а для ночных – отрицательная.

Внешние ритмы имеют географическую природу, связаны с вращением Земли относительно Солнца и Луны относительно Земли.

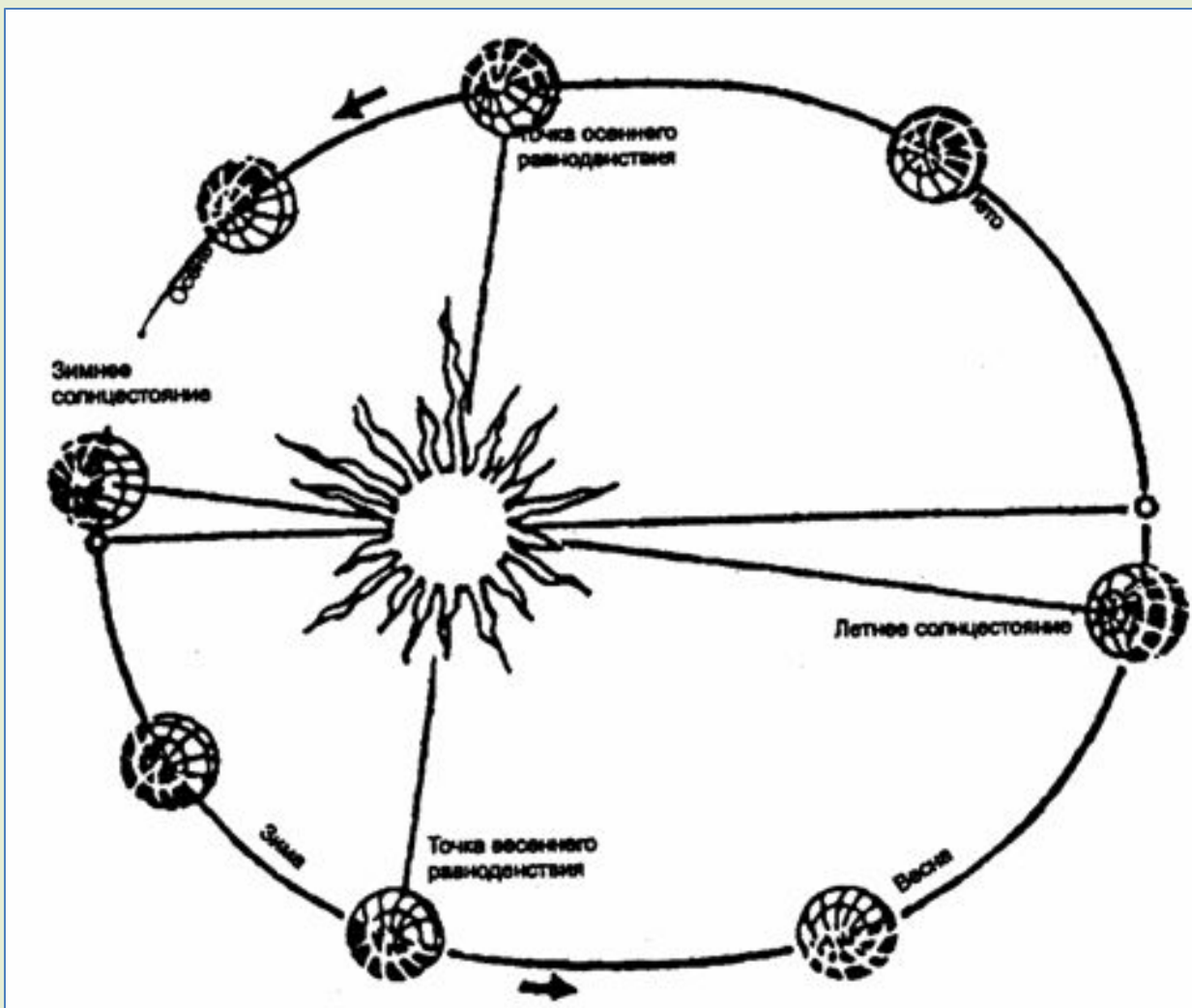


Рис. Путь Земли вокруг Солнца.

Световой режим, t , давление и влажность воздуха, атмосферное электромагнитное поле, морские приливы и отливы и др. под влиянием этого вращения закономерно изменяются.

На живые организмы воздействуют периодические изменения солнечной активности. Для Солнца характерен 11-летний и целый ряд других циклов. Существенное влияние оказывают на климат нашей планеты изменения солнечной радиации.

К внешним ритмам относятся закономерные изменения активности, поведение других живых существ.

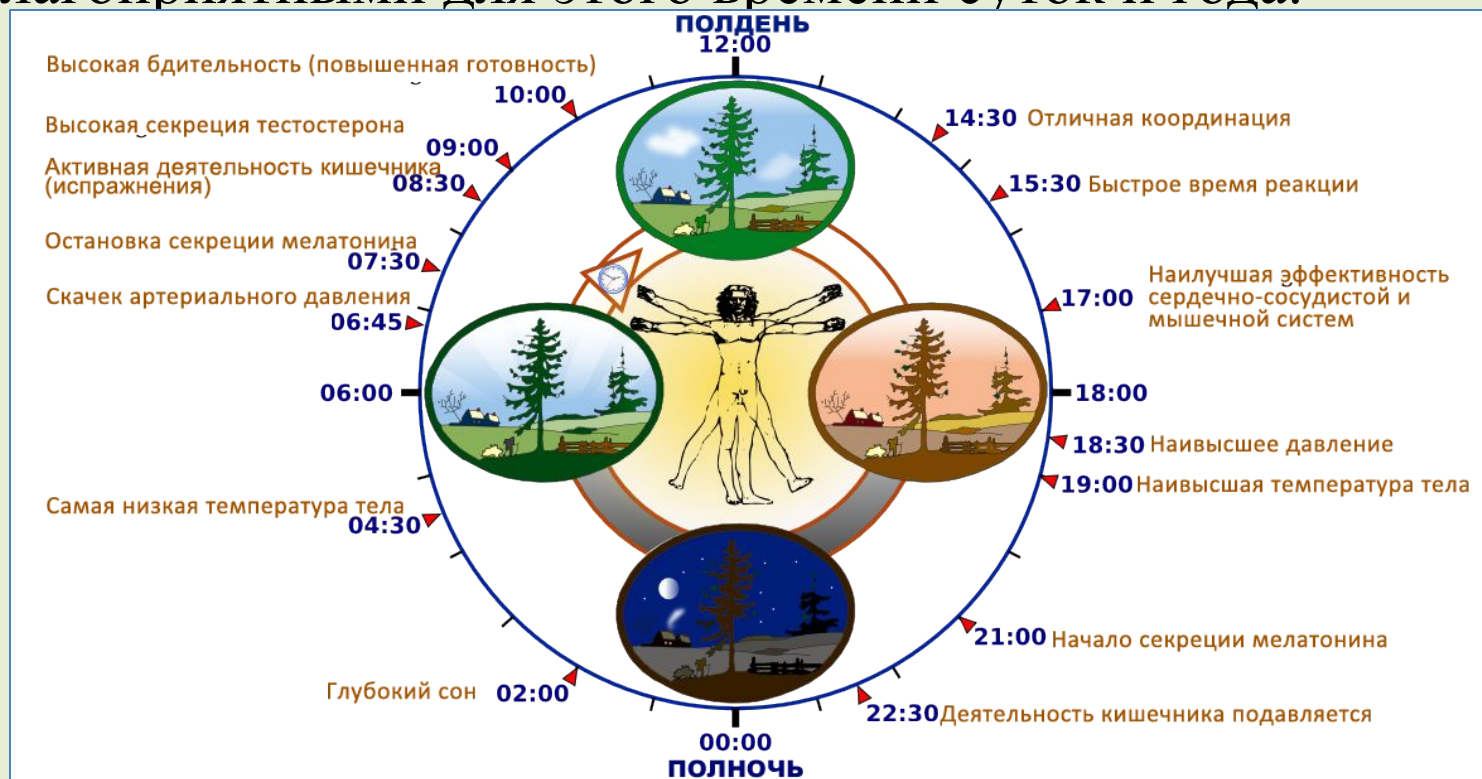
Внутренние, физиологические, ритмы

Ритмичен синтез ДНК и РНК в клетках, синтез белков, работа ферментов, деятельность митохондрий. Деление клеток, сокращение мышц, работа ЖВС, ЧСС, ЧДД, возбудимость нервной системы, т. е. работа всех клеток, органов и тканей организма подчиняется определенному ритму.

Каждая система имеет свой собственный период. Действиями факторов внешней среды изменить этот период можно лишь в узких пределах, а для некоторых процессов практически невозможно – *эндогенная ритмика*.

Для внешних и внутренних ритмов наступление очередной фазы зависит от времени. **Время** – экологический фактор приспособления живых организмов к внешним циклическим изменениям природы.

Адаптивные биологические ритмы – суточные, приливно-отливные, равные лунному месяцу, годовые. Питание, рост, размножение и др. совпадают с наиболее благоприятными для этого времени суток и года.



Суточный режим обусловлен периодическим изменением освещенности из-за вращения Земли вокруг своей оси.

В зеленых растениях фотосинтез идет только в светлое (дневное) время суток. Открывание и закрывание цветков, поднятие и опускание листьев, максимальная интенсивность дыхания, скорость роста coleoptily (первый после семядоли лист злаков) и др. приурочены к определенному времени суток.



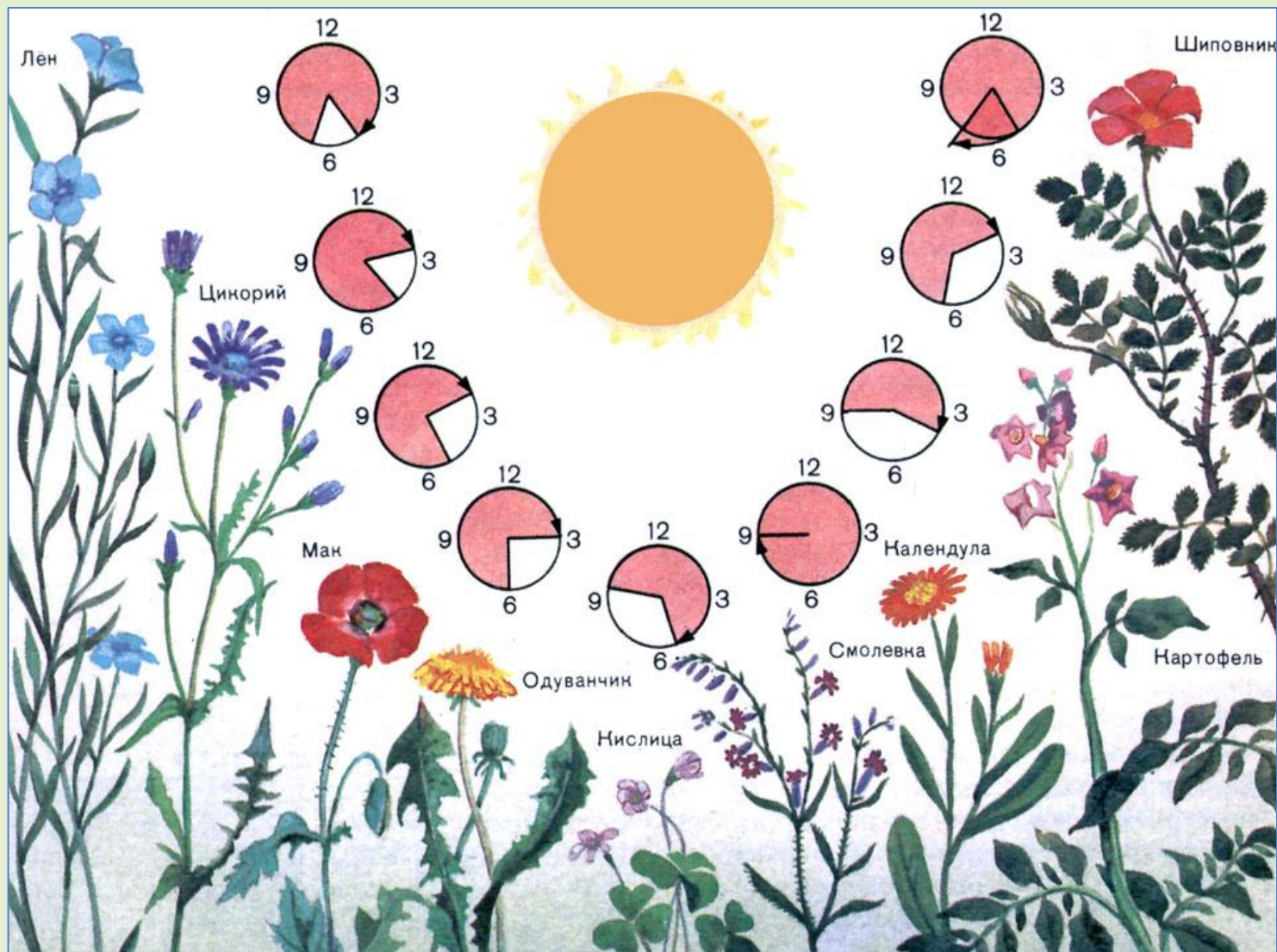


Рис. Цветочные часы. *Примечание:* в кружках показано время открывания и закрывания цветков у разных растений.

Млекопитающие обычно более активны ночью, но существуют и исключения, например человек: зрение человека, так же как и человекообразных обезьян, приспособлено к дневному свету.

Свыше 100 физиологических функций человека имеют суточную периодичность: сон и бодрствование, изменение t тела, ЧСС, глубины и частоты дыхания, объема и химического состава мочи, потоотделения, мышечной и умственной работоспособности и т. д.

Большинство животных подразделяется *дневную* и *ночную* группы видов, практически не встречающиеся друг с другом.

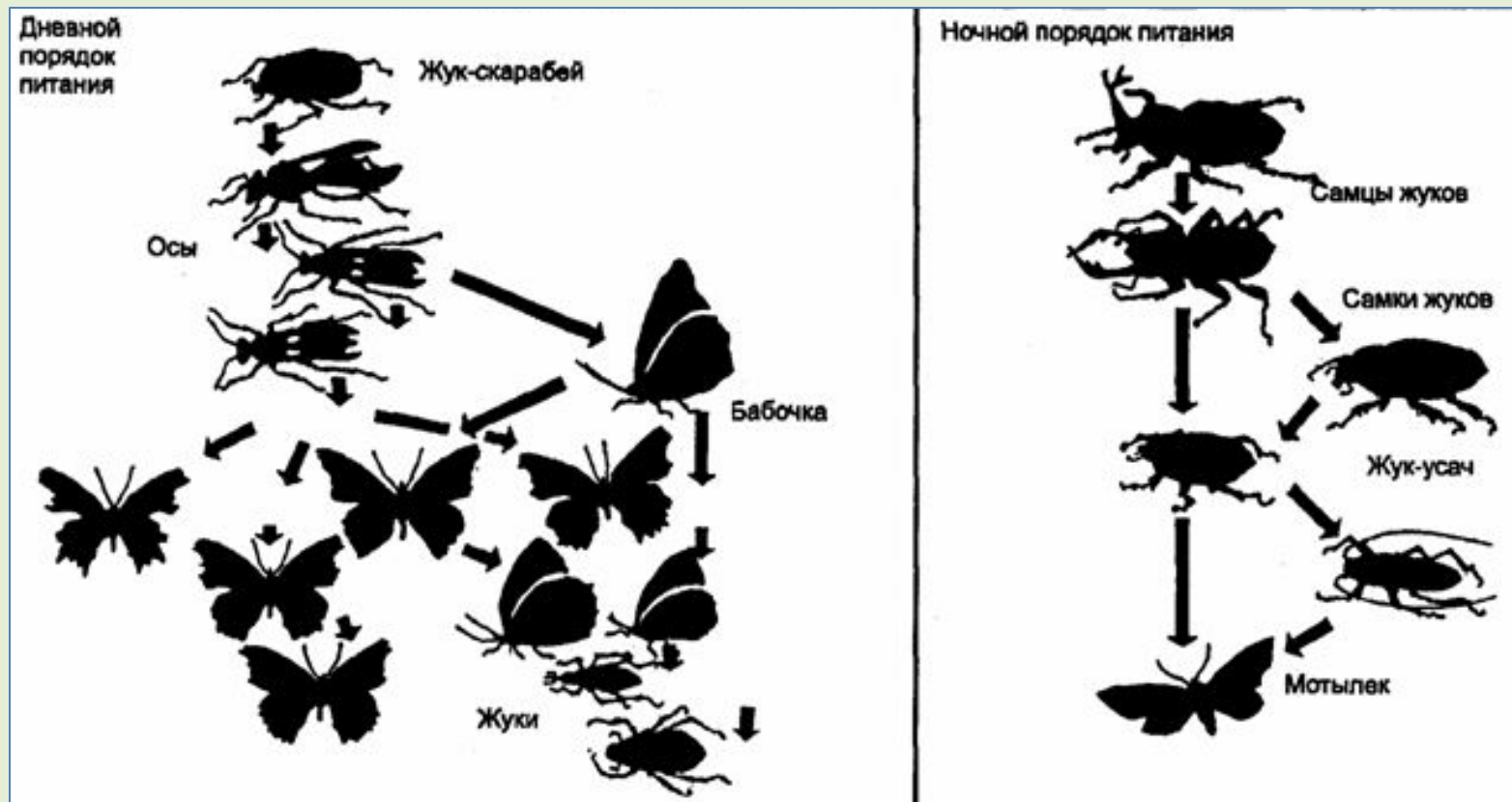


Рис. Дневной и ночной порядок питания животных.

Дневные животные (большая часть птиц, насекомых и ящериц) на закате отправляются спать, а мир заполняют ночные животные (ежи, летучие мыши, совы, большинство кошачьих, травяные лягушки, тараканы и др.).

Есть виды животных с одинаковой активностью днем и ночью, с чередованием коротких периодов покоя и бодрствования – *полифазный ритм* (хищники, землеройки и т. д.).

Суточный ритм обитателей водных систем – океанов, морей, больших озер: зоопланктон вертикально мигрирует, поднимаясь к поверхности на ночь и опускаясь днем.

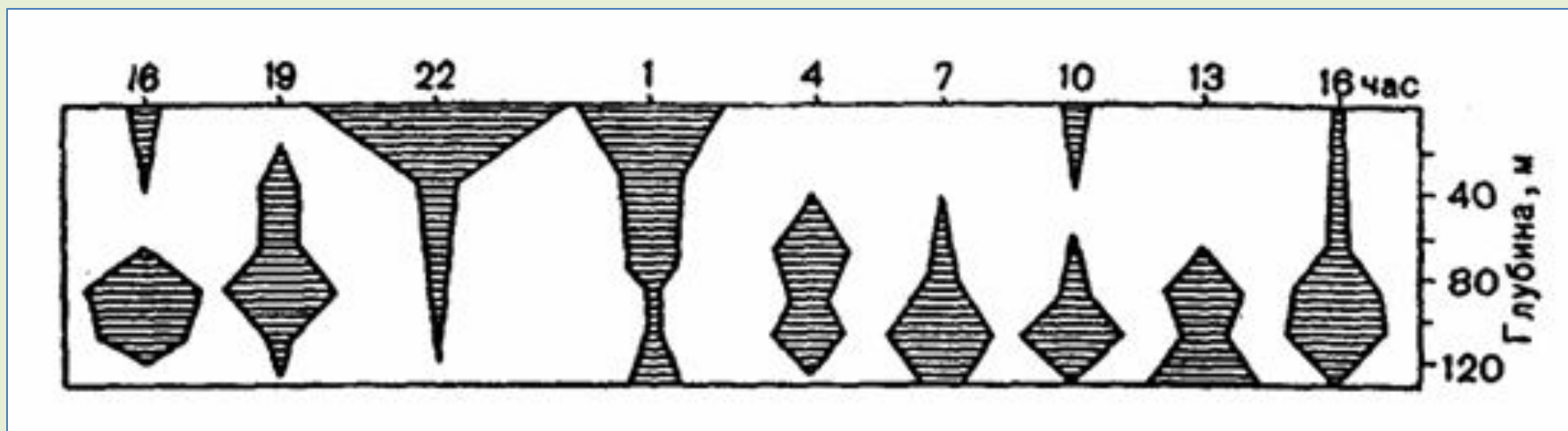
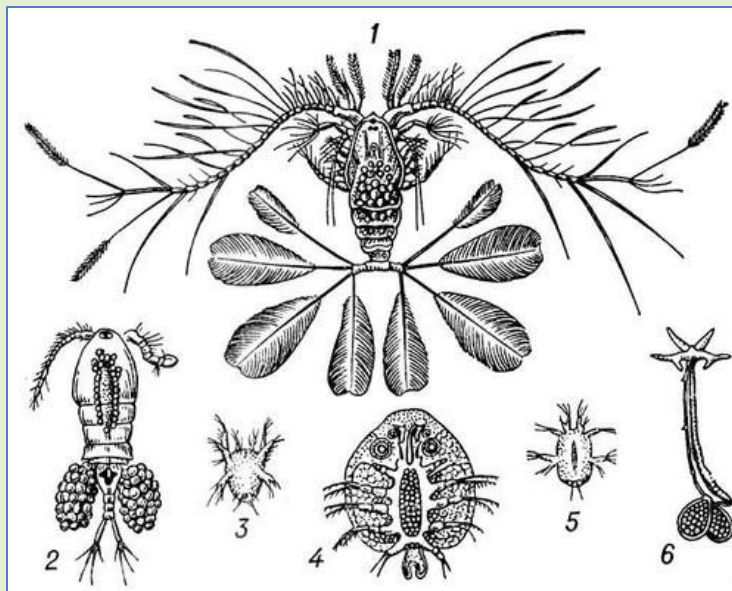


Рис. Ежедневные вертикальные миграции самок веслоногого рачка *Calanus finmarchicus* (Р. Дажо, 1975)

Вслед за зоопланктоном вверх-вниз перемещаются питающиеся им более крупные животные, а за ними — еще более крупные хищники.

Вертикальные перемещения планктонных организмов происходят под влиянием освещенности, температуры, солености воды, гравитации, наконец, просто голода.

Первична освещенность, т.к. ее изменение изменяет реакции животных на гравитацию.

Наиболее четки физиологические сдвиги в течение суток у летучих мышей.

В период дневного покоя летом многие из летучих мышей – пойкилотермны: t тела в это время практически совпадает с t среды. Пульс, дыхание, возбудимость органов чувств резко снижены.

Вечером и ночью – это типичные гомойотермные млекопитающие с высокой t тела, активными и точными движениями, быстрой реакцией на добычу и врагов.



Активность жуков-чернотелок или пустынных мокриц сдвигается на разное время суток в зависимости от t и влажности на поверхности почвы. Из норок они выходят рано утром и вечером (двухфазный цикл), или только ночью (однофазный цикл), или в течение всего дня.

Открывание цветков шафрана зависит от t , соцветий одуванчика от освещенности: в пасмурный день корзинки не раскрываются.

При полном постоянстве внешних условий (t , освещенность, влажность и др.) у многих видов сохраняются длительное время циклы, близкие к суточному – *циркадные* (лат. *circa* – около и *dies* – сутки). Так, у дрозофил такой эндогенный ритм отмечается в течение десятков поколений. *Факторы*: вращение Земли вокруг Солнца, отношение к Луне и звездам, накладываются и воспринимаются близкими к 24-часовому периоду.



Пустынные мокрицы



Цветы шафрана, крокуса (лат.
Crocus)



Соцветия одуванчика

У разных видов и даже у разных особей одного вида циркадные ритмы различаются по продолжительности, но под влиянием правильного чередования света и темноты могут стать = 24 ч.

Если летяг (*Rebromys volans*) содержать в абсолютной темноте непрерывно, то все они просыпаются и ведут активный образ жизни вначале одновременно, но вскоре — в разное время, и при этом каждая особь сохраняет свой ритм. При восстановлении правильного чередования дня и ночи периоды сна и бодрствования летяг снова становятся синхронными.

Вывод: внешний раздражитель (смена дня и ночи) регулируют врожденные циркадные ритмы, приближая их к 24-часовому периоду.

При расселении растений и животных, попадании их в географические условия с другой ритмикой дня и ночи прочный стереотип может быть неблагоприятным.

Расселительные возможности видов живых организмов нередко ограничены глубоким закреплением их циркадных ритмов.

В приуроченности к определенным фазам Луны периодичность проявляется в роении ряда комаров-хируномид и поденок, размножении японских морских лилий и многощетинковых червей палоло (*Eunice viridis*).

Морские многощетинковые черви **палоло** коралловых рифов Тихого океана. Половые клетки червей созревают раз в год примерно в одно и то же время – в определенный час определенного дня, когда Луна находится в последней четверти. Задняя часть тела червя, набитая половыми клетками, отрывается и всплывает на поверхность. Яйца и сперма выходят наружу, и происходит оплодотворение. Верхняя половина тела, оставшаяся в норе кораллового рифа, к следующему году снова наращивает нижнюю половину с половыми клетками.

Начало двухмесячной беременности гигантских лесных крыс Малайзии приходится на полнолуние. Яркий лунный свет стимулирует зачатие у этих ночных животных.



Палоло

На полнолуние приходится периоды максимальной эмоциональной приподнятости у людей; 28-дневный менструальный цикл женщин, возможно, унаследован от предков млекопитающих, у которых синхронно со сменой фаз Луны менялась и температура тела.

Приливно-отливные ритмы. Движение Луны вокруг Земли ведут к суточной и месячной ритмике приливов.

Максимальной высоты приливы достигают примерно раз в 14 дней, когда Солнце и Луна находятся на одной прямой с Землей и оказывают максимальное воздействие на воды океанов. Ритмика приливов сказывается на организмах прибрежных вод. Она здесь важнее, чем смена дня и ночи. Атерина-груниона – рыбка длиной 17 см у побережья Калифорнии в самые высокие ночные приливы выбрасывается на берег. Самки, зарыв хвост в песок, откладывают икру, самцы оплодотворяют ее, после чего рыбы возвращаются в море. С отступлением воды оплодотворенная икра проходит все стадии развития в мокром песке. Выход мальков происходит через полмесяца в следующий высокий прилив. Личинки вылупляются через три минуты после того, как новая приливная волна достигнет «инкубатора».



Ночной морской прилив



Рыбка-грунина, атерина

Сезонная периодичность. Смена времен года наиболее заметно протекает в зонах умеренного климата и северных широтах, где контрастность метеорологических условий разных сезонов года весьма значительна.

Периодичность в жизни животных и растений – результат приспособления к годичному изменению метеорологических условий. Она проявляется в выработке определенного ежегодного ритма в их жизнедеятельности, согласованного с метеорологическим ритмом.

Для растений умеренных широт имеет значение не только общий уровень тепла, но и распределение его во времени. Если растениям дать одинаковое количество тепла, но по-разному распределенного: одному теплое лето и холодную зиму, а другому соответствующую постоянную среднюю температуру, то нормальное развитие будет только в первом случае, хотя общая сумма тепла в обоих вариантах одинакова.

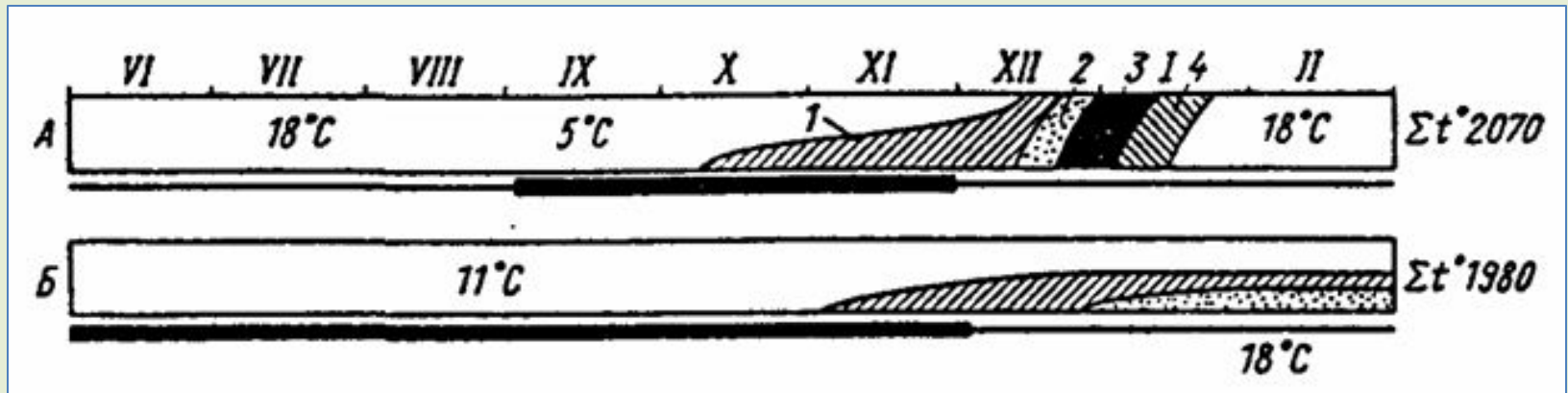


Рис. Сезонный термопериодизм на примере пролески *Scilla sibirica*: А - нормальная сезонная смена температур: теплое лето и холодная осень; Б - постоянная средняя температура. *Фенофазы*: 1 - прорастание, 2 - бутонизация; 3 - цветение и плодоношение; 4 - отмирание. Жирные линии - периоды холода или средней температуры. Выгонка при 18°C (Т. К. Горышина, 1979)

Сезонный термопериодизм – потребность растений умеренных широт в чередовании в течение года холодных и теплых периодов.

Решающим фактором сезонной периодичности является увеличение продолжительности дня. Продолжительность дня меняется на протяжении всего года: дольше всего солнце светит в день летнего солнцестояния в июне, меньше всего - в день зимнего солнцестояния в декабре.

У многих живых организмов имеются физиологические механизмы, реагирующие на продолжительность дня и изменяющие их образ действий.

Пока продолжительность дня составляет 8 ч, куколка бабочки-сатурнии спокойно спит, так как на дворе еще зима, но как только день становится длиннее, особые нервные клетки в мозге куколки начинают выделять гормон, вызывающий ее пробуждение.



Бабочка из семейства павлиноглазки, Сатурнии, Глазчатки - Saturniidae.

Сезонные изменения мехового покрова млекопитающих определяются относительной продолжительностью дня и ночи, мало или не зависят от t . Постепенно искусственно сокращая светлое время суток в вольере, ученые имитировали осень и добивались того, что содержащиеся в неволе ласки и горностаи раньше времени меняли свой коричневый летний наряд на белый зимний.



Ласка



Горностаи

Экологи же, изучающие сообщества умеренного пояса, обычно выделяют шесть времен года, различающиеся по набору видов в сообществах: зима, ранняя весна, поздняя весна, раннее лето, позднее лето и осень.

Состав сообщества птиц, куда входят как постоянные обитатели данной местности, так и птицы, проводящие здесь зиму или лето, все время меняется, при этом максимальной численности птицы достигают весной и осенью во время пролетов.

В Арктике два времени года: девятимесячная зима и три летних месяца, когда солнце не заходит за горизонт, почва оттаивает и в тундре просыпается жизнь.

По мере продвижения от полюса к экватору смена времени года все меньше определяется t , а все больше влажностью. В пустынях умеренного пояса лето – период, когда жизнь замирает, и расцветает ранней весной и поздней осенью.



Позднее лето

Смена времени года связана с ритмом размножения. У домашних животных (коров, лошадей, овец) и животных в естественной природной среде умеренного пояса потомство обычно появляется весной и подрастает в наиболее благоприятный период – больше растительной пищи.

Размножение многих мелких млекопитающих (мышей, полевок, леммингов) не имеет строго сезонной приуроченности. В зависимости от количества и обилия кормов размножение может идти как весной, так и летом, и зимой.

В природе наблюдается многолетняя периодичность биологических явлений. Она определяется изменениями погоды, закономерной ее сменой под влиянием солнечной активности и выражается чередованием урожайных и неурожайных лет, лет обилия или малочисленности популяций.

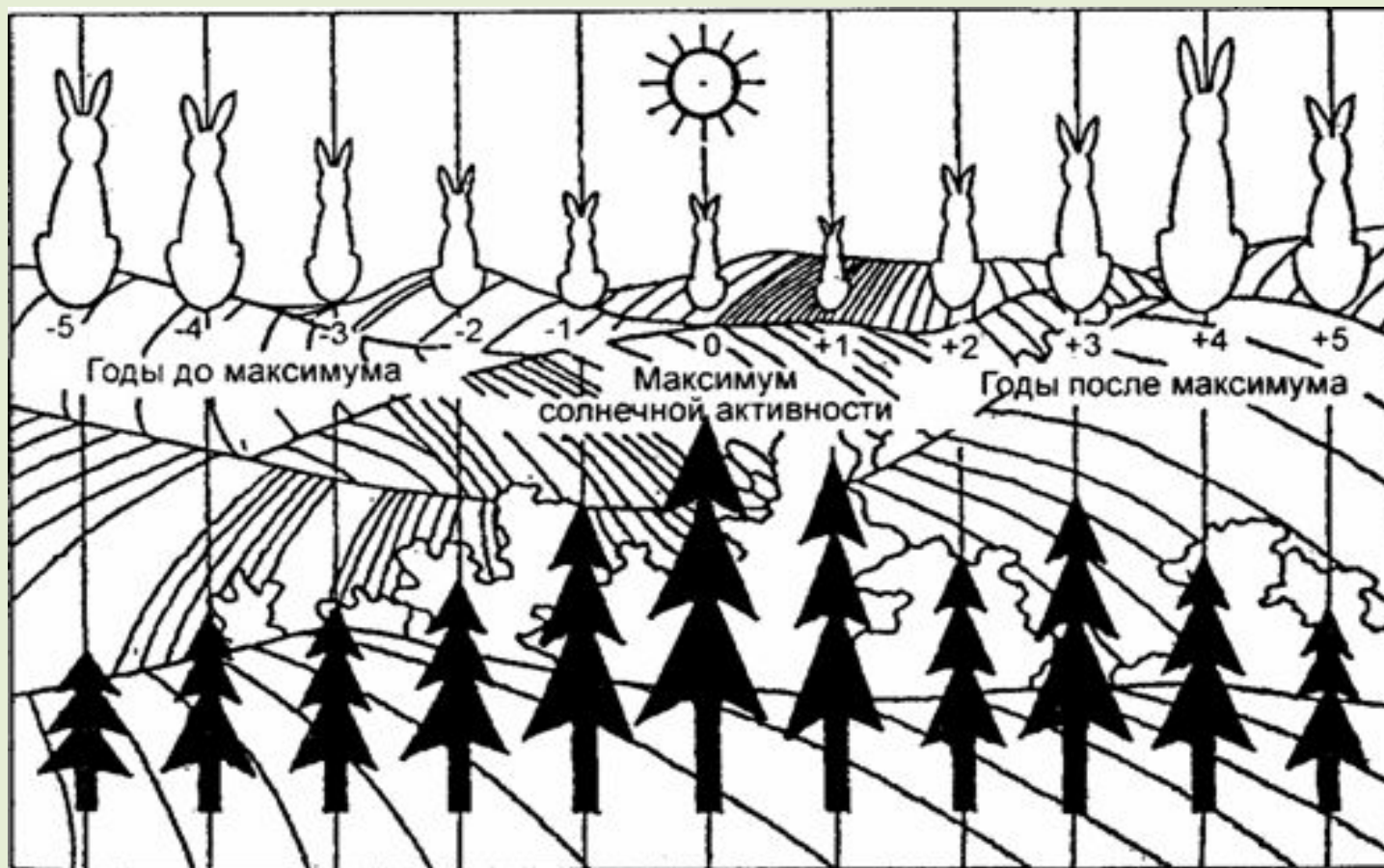


Рис. Принципиальная схема прироста леса и размножения животных (зайца-беляка) в разные годы солнечного цикла (Стетсен).

Д. И. Маликов за 50 лет наблюдений отметил пять крупных волн изменений поголовья скота или столько, сколько было солнечных циклов. Аналогично в цикличности удоев молока, приросте мяса, шерсти у овец и в др. показателях с/х.

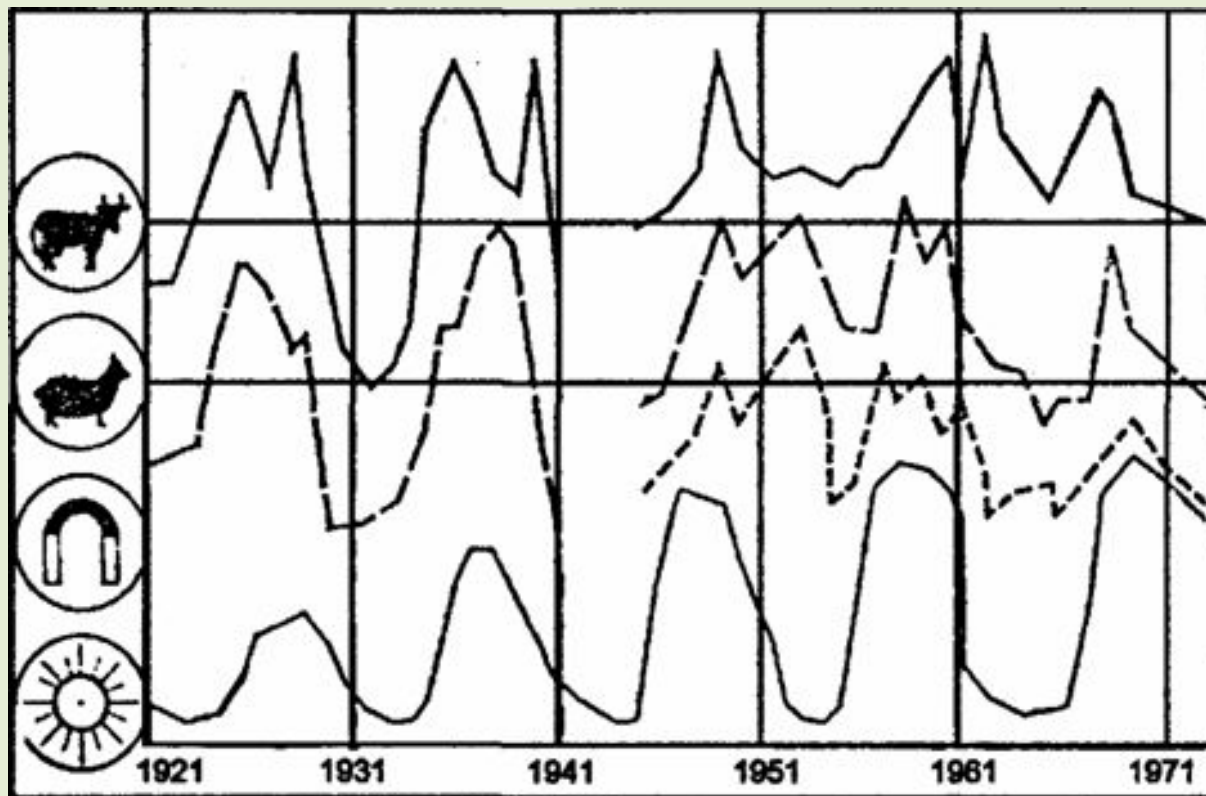


Рис. Изменения поголовья мелкого рогатого скота и коров в связи с колебаниями магнитной и солнечной активности (Д. И. Маликов).

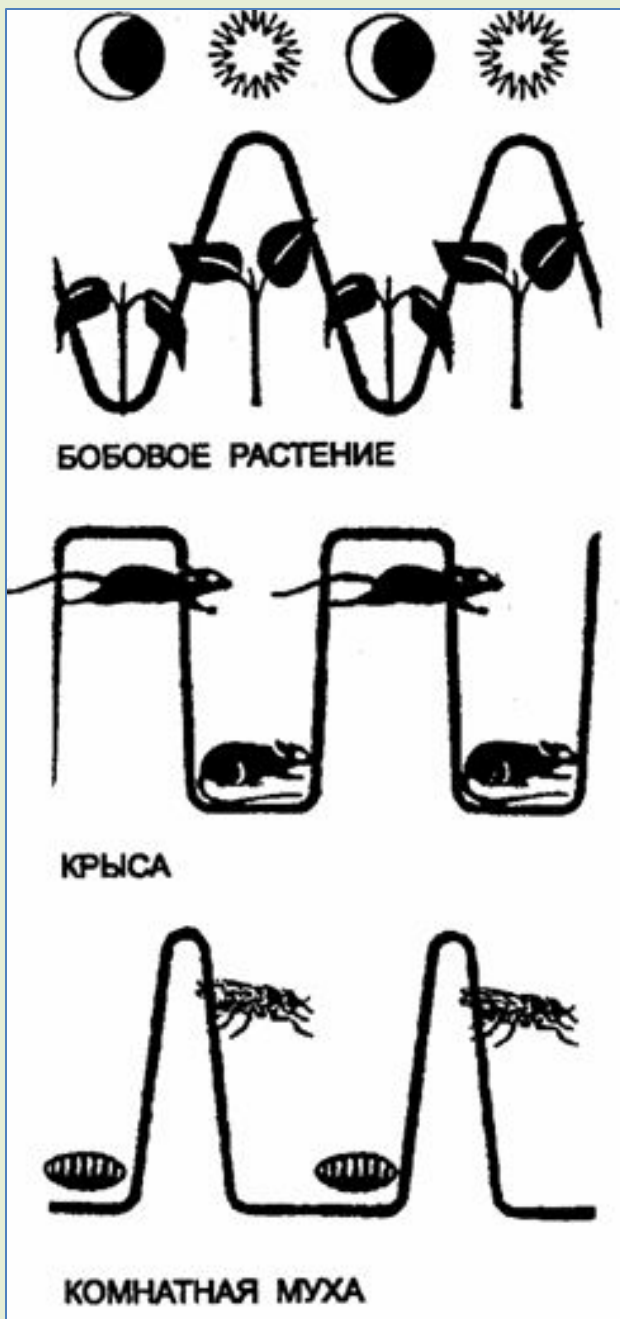
Периодичность изменений свойств вируса гриппа связывают с солнечной активностью.

Согласно прогнозу, после относительно спокойного по гриппу периода начала 80-х гг. XX в. с 2000 г. ожидается резкое усиление интенсивности его распространения.

5-6 и 11-летние, а также 80-90-летние или вековые циклы солнечной активности позволяют объяснить совпадения периодов массового размножения животных и роста растений с периодами солнечной активности.

Биологические часы

Циркадные и суточные ритмы лежат в основе способности организма чувствовать время. Механизм, ответственный за такую периодическую активность – будь то питание или размножение - «**биологические часы**».



Листья бобовых на ночь
сникают, а днем —
расправляются.

График активности *крыс*
состоит из последовательно
чередующихся прямоугольных
ям (день - крыса спит) и плато
(ночь - крыса бодрствует).

Комнатные мухи большей
частью вылупляются из куколок
утром.

Рис. Биологические часы (П.
Фарб, 1971).

различные виды птиц, черепах, пчел и др. — ориентируются в своих путешествиях по небесным светилам. Думается, что для этого нужно обладать не только хорошей памятью, позволяющей запоминать положение Солнца или других светил, но и чем-то вроде хронометра, показывающего, сколько времени потребовалось Солнцу и звездам, чтобы занять новое место на небосводе. Организмы, обладающие такими внутренними биологическими часами, получают еще одно преимущество — они способны «предвидеть» наступление регулярно повторяющихся событий и соответствующим образом подготовиться к предстоящим переменам. Так, пчелам их внутренние часы помогают прилететь на цветок, на котором побывали вчера, точно к тому времени, когда он распускается. Цветок, который посещает пчела, также обладает некими внутренними часами, некими внутренними часами, сигнализирующими о времени распускания. О существовании собственных биологических часов известно каждому. Проснувшись несколько дней подряд от звонка будильника, быстро привыкаешь просыпаться прежде, чем он зазвонит. Сегодня имеются различные точки зрения на природу биологических часов, их принцип действия, но одно несомненно — они реально существуют и широко распространены в живой природе. Определенные внутренние ритмы присущи и человеку. Химические реакции в его организме происходят, как это было показано выше, с определенной периодичностью. Даже во время сна электрическая активность мозга человека меняется каждые 90 мин.

Биологические часы представляют собой экологический фактор, ограничивающий активность живых существ. Свободному расселению животных и растений препятствуют не только экологические барьеры, они привязаны к своему местообитанию не только конкуренцией и симбиотическими отношениями, границы их ареалов определяются не только адаптациями, но их поведение управляется еще и опосредованно, через внутренние биологические часы, движением далеких небесных тел.

Фотопериодизм

Фотопериод – продолжительность дня, характеристика светового режима, неодинакова в течение года. Длина дня небезразлична для живых организмов. **Фотопериодизм** – ритмические изменения морфологических, биохимических и физических свойств и функций организмов под влиянием чередования и длительности освещения.

Фотопериодическая реакция (ФПР) – способность живых организмов реагировать на длину дня.

Открыт в 1920 г. В. Гарнером и Н. Аллардом при селекционной работе с табаком. Один из сортов, который цвел весной и осенью в теплице, не зацветает летом в открытом грунте. Сделано предположение, что цветению препятствует длинный летний день. Предположение подтвердилось, когда удалось получить цветение табака летом при искусственно укороченном дне.

Фотопериодическая реакция свойственна растениям разных таксономических групп и жизненных форм. Способность воспринимать длину дня и реагировать на нее широко распространена и в животном мире.

Группы растений по типу фотопериодической реакции

1. *Короткого дня.* Зацветание и плодоношение наступает при 8-12-часовом освещении (конопля, табак, перилла).
2. *Длинного дня.* Для цветения нужна продолжительность дня 12 ч и $>$ (картофель, пшеница, шпинат).
3. *Нейтральные к длине дня* растения. Длина фотопериода безразлична. Цветение наступает при любой длине дня (кроме очень короткой – *световое голодание*): горчица, одуванчик, томат и др.



Рис. Типы фотопериодической реакции растений: А – короткодневный (перилла); Б – длиннодневный (шпинат); В – нейтральный (горчица) (Б. С. Мошков, 1961)

Каждому виду или сорту свойствен определенный *критический фотопериод*. Растения обладают способностью «измерять» его продолжительность с довольно большой точностью. Например, для *длиннодневной хризантемы* критическая длина дня, обеспечивающая цветение, составляет 14 ч 40 мин, а уже при 13 ч 50 мин бутоны не образуются.

В тропиках, где сезонные изменения длины дня незначительны, высокая фотопериодическая чувствительность обнаружена у многих сортов *риса*, возделываемых в определенные сезонные сроки. В этих случаях решающими для перехода растений к генеративной фазе оказываются даже ничтожные изменения фотопериода.

Связь между географическим распространением и типом фотопериодизма.

В высоких и умеренных широтах растениям длинного дня, приспособлены к продолжительному освещению.

Тропики и субтропики – короткодневные или нейтральные.

Виды с обширными ареалами разных широт имеют географические популяции с разными *критическими* фотопериодами, соответствующие длине дня.

Фотопериодическая реакция – точный механизм соответствия экологии вида к разнообразию условий ареала.

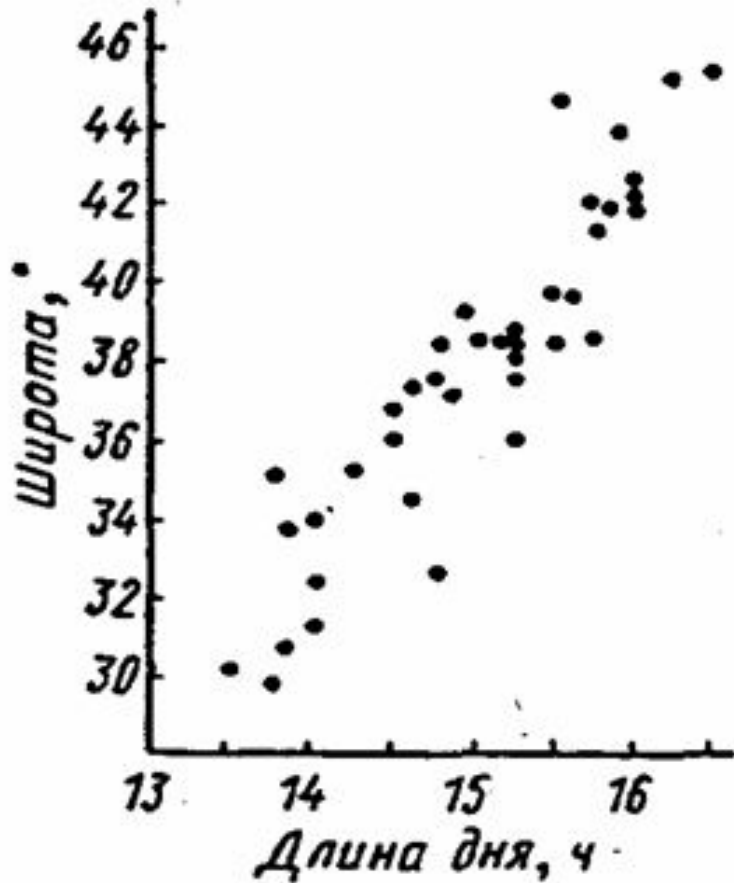
ФПР культурных растений соответствует географическому району формирования сорта.

Сибирские сорта пшеницы имеют длиннодневный тип ФПР, а абиссинский – короткодневный.

ФПР служит ограничителем распространения вида или географической популяции. Длина дня препятствует миграции северных длиннодневных форм к югу и южных короткодневных – к северу.

Виды с нейтральной ФПР более широко распространены – от тропиков до арктических районов (если нет ограничения по теплу и др. климатическим факторам).

Рис. Изменение порога ФПР (критической длины дня) с географической широтой у дурнушника *Xanthium strumarium* (А. П. Тыщенко, 1979).



Животные, особенно насекомые чувствительны к продолжительности дня.

Саранчовые (Arididae), многие совки (Noctuidae), тутовый шелкопряд (*Bombix mori*) развиваются в условиях короткого дня, а капустная белянка (*Pieris brassicae*), березовая пяденица (*Riston betularia*) – типичные *организмы длинного дня*.

Продолжительность дня регулирует размножение и эмбриональное развитие приспособительными реакциями – диапауза, линька, спячка (сном), миграции.

Диапауза – состояние физиологического торможения ОВ и остановки формообразовательных процессов. Сигнал к переходу в диапаузу – уменьшение продолжительности светового времени суток.

Приспособления к неблагоприятным сезонным явлениям

Для растений *состояние покоя* – прекращение роста и замедление физиолого-биохимических процессов.

Органический покой для клубней, плодов, почек. Картофель осенью не прорастает даже при высоких температурах. Осенью и ранней зимой не распускаются почки срезанных с дерева и поставленных в воду ветвей. В растении изменяется нуклеиновый и белковый обмен в эмбриональных клетках и тканях - нормальный рост весной.

Глубокий покой наступает одновременно с органическим или после него и обуславливает *морозоустойчивость* растений. Глубина покоя зависит от вида растений и характера осенней погоды.

Вынужденный покой из-за неблагоприятных условий. Часто весной.

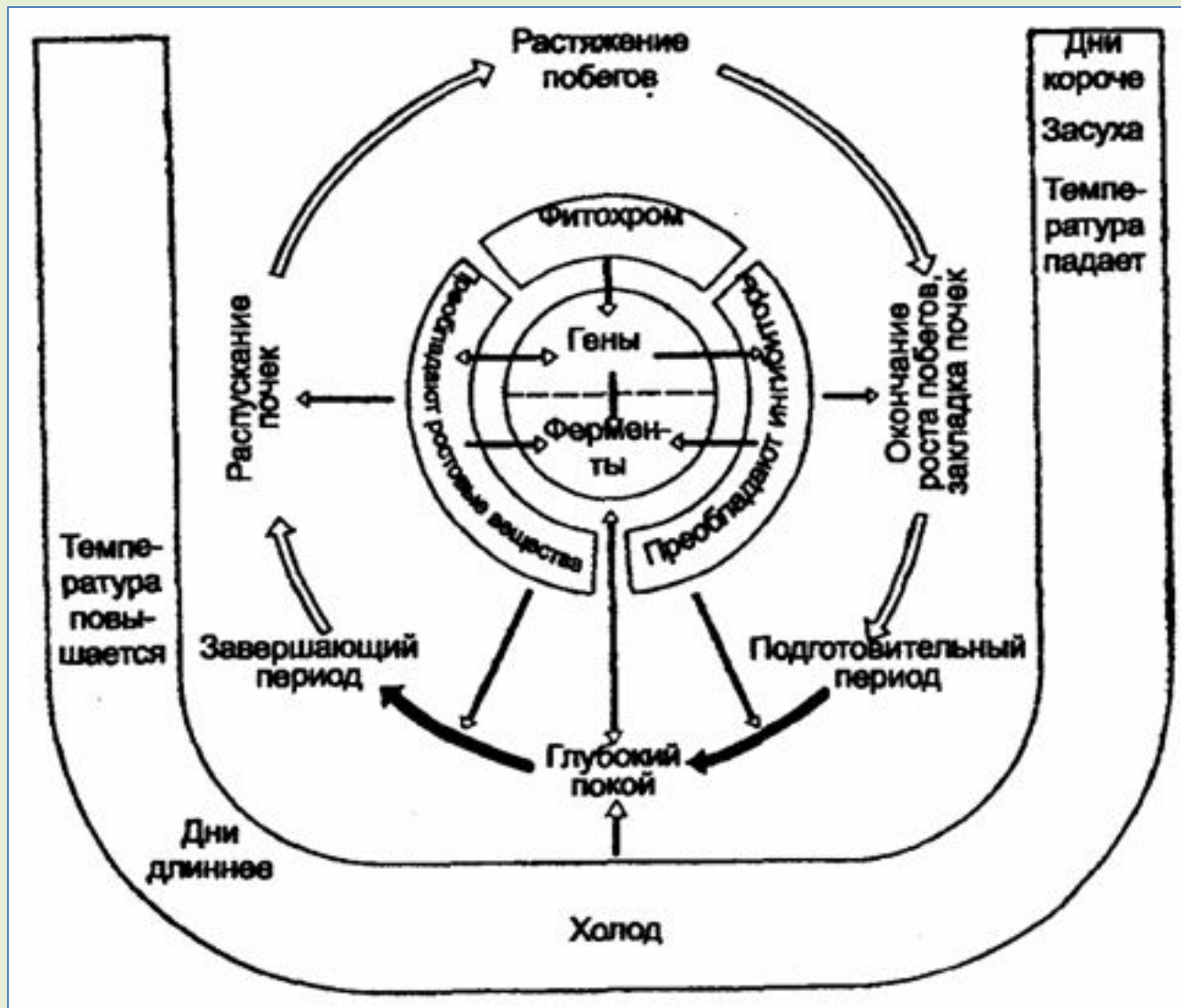


Рис. Схема влияния внешней среды (подковообразная фигура), управляющих механизмов клетки и гормональных факторов на ритм развития древесных растений (В. Лархер, 1978)

У животных приспособления более разнообразны
Периодичность размножения. *Сигнальный фактор* и
стимулятор размножения – световой режим
местообитания.

Спячка наступает на любой стадии развития, распространена среди животных высоких и умеренных широт.

В период *зимней* или *летней* спячки снижается уровень ОВ и потребление O_2 в 10-20 раз. Млекопитающие и особенно земноводные, пресмыкающиеся и большинство беспозвоночных впадают в *глубокое оцепенение*. Длина светового дня, регулярно изменяющаяся на протяжении года, предвещает приближение благоприятных или неблагоприятных сезонов точнее, чем все другие, менее регулярные колебания климатических факторов.

Диапауза – длительная приостановка развития для членистоногих, особенно насекомых.

Длина светового дня – сигнал для превентивной перестройки ОВ (сдвиг диапазонов потенции, накопление запасных веществ, понижение содержания влаги) еще в благоприятных условиях. «Приторможенный» ОВ должен в течение определенного времени протекать при ожидавшихся *субоптимальных* t (0-12 °C), прежде чем процессы развития смогут возобновиться в нормальном диапазоне t .

Гусеницы пестрокрыльницы изменчивой (*Araschinia levana*) живут при длинном световом дне (> 16 ч весной), то их куколки без диапаузы дают темную летнюю форму бабочек (f. *prorsa*).

При коротком световом дне (< 16 ч поздней осенью) они дают *диапаузирующих* куколок, которым требуется не менее трех месяцев холода ($0-12^{\circ}\text{C}$), чтобы из них с наступлением тепла могли выйти более светлые бабочки (f. *levana*).

Миграции – закономерные перемещения в определенном направлении, выработанные в процессе исторического развития. Недостаток пищи или ухудшение погоды побуждают некоторых насекомых (саранчу), птиц (кедровку, клеста, свиристеля), млекопитающих (леммингов) к первоначально ненаправленным откочевкам.

Регулярные миграции многих перелетных птиц определяются ежегодно изменениями погоды - *погодные* птицы - грачи, дрозды, зяблики, лысухи и т.д.. *Инстинктивные* птицы отлетают в фиксированные сроки, руководствуясь фотопериодом, задолго до ухудшения погоды и сокращения пищевых ресурсов: аист, иволга, черные стрижи и др.

Фенология (греч. наука о явлениях) – прикладная отрасль экологии, изучающая закономерности сезонного развития природы.

Биоклиматический закон Хопкинса: на территории Европы сроки наступления сезонных явлений (*фенодат*) различаются в ср. на три дня на каждый градус широты, на каждые 5 град. долготы и на 120 м высоты над уровнем моря, т.е. чем севернее, восточнее и выше местность, тем позднее наступает весна и раньше осень.

Фенологические даты зависят от местных условий - рельефа, экспозиции, удаленности от моря и т. д. Точки с одинаковыми фенодатами при соединении на карте образуют *изолинии*, отражающие фронт продвижения весны и наступления сезонных явлений.