Коэволюция означает совместную эволюцию двух (или более) таксонов, которые объединены тесными экологическими связями, но которые не обмениваются генами.

Примеры коэволюции:

в процессе эволюции взаимоотношений «хищник—жертва» жертва действует так, чтобы освободиться от взаимодействия, а хищник — так, чтобы постоянно его поддерживать.

примером коэволюции служит связь между муравьями и одним из видов тропических акаций. Если искусственным путем удалить муравьев, то насекомые-фитофаги, которых обычно поедают муравьи, объедают все листья акации, после чего она гибнет

В сопряженную эволюцию может быть вовлечено не одно, а несколько звеньев пищевой цепи. Так, бабочки-монархи способны накапливать в теле высокотоксичные сердечные гликозиды, содержащиеся в растениях с млечным соком, которыми питаются их гусеницы. Тем самым они обеспечивают себя высокоэффективной защитой против насекомоядных птиц. У бабочек выработалась способность не только питаться растениями, несъедобными для других насекомых, но и использовать яд растений для собственной защиты от хищников.

Пример группового отбора.

Эволюция жертвы приводит к уменьшению энергии, переносимой с одного трофического уровня на другой, и повышению устойчивости экосистемы, эволюция хищника — к возрастанию эффективности этого переноса и снижению устойчивости. Разнообразие видов жертв, добываемых хищником, а также способность последнего изменять свой рацион в ответ на изменение доступности жертвы, вероятно, влияют на устойчивость популяций жертвы, а следовательно, и на устойчивость сообщества. Подобные и аналогичные процессы завершаются формированием баланса между популяциями хищника и жертвы.

Функционирование сообществ основано на циклических процессах, протекающих с отрицательной обратной связью; для того, чтобы началось эволюционное развитие, она должна разрушиться и смениться на положительную обратную связь. Любой эволюционный успех жертвы (увеличение скорости передвижения и т.п.) немедленно становится для хищника ощутимым, тогда как эволюционные «приобретения» хищника для жертвы безразличны, поскольку в норме изымается лишь небольшая часть ее популяции. Система пребывает в равновесии до тех пор, пока эффективность хищника не превысит некоторое пороговое значение. С того момента, когда реактивной становится жертва, а не хищник, баланс нарушается и в системе возникает положительная обратная связь. Система, выйдя из равновесия, начинает эволюционировать в некоем, подчас неожиданном, направлении.

В эволюционном масштабе времени роль верхних трофических уровней представляется в следующем виде. Их взаимодействия с нижними уровнями являются не столько энергетическими (описываемыми в терминах трофической пирамиды), сколько информационными. Консументы образуют «блок управления» экосистемы, деятельность которого вызывает эволюционные изменения нижних уровней.

В эволюции экосистем происходит не только повышение устойчивости биотических сообществ. Подобно тому, как индивидуальное развитие организма (онтогенез) представляет собой краткое повторение филогенеза\*, так и эволюция экосистем повторяется в их сукцессионном развитии. Если сравнить структуру экосистем в ранние и поздние геологические эпохи, то видно, что в эволюции экосистем увеличивается их видовое разнообразие, замыкаются биогеохимические циклы, растет способность видов обеспечивать равномерное распределение ресурсов внутри системы и препятствовать их выходу из нее. Так же как в эволюции видов общее прогрессивное развитие сопровождается усложнением отдельных форм, в эволюции экосистем возникают такие экосистемы, которые регулируются ^-отбором и осуществляют более совершенное перераспределение ресурсов.

Темпы эволюции экосистемы резко меняются при крупномасштабных стрессах. Любой фактор, способный вывести экосистему из стабилизированного состояния, кладет начало более быстрым темпам эволюции. В качестве таких факторов мщгут выступать глобальные изменения климата, геологические процессы, массовая иммиграция видов при соединении материков и т. п. На фоне разрушенных прежних связей происходит лавиноподобное образование новых видов. Образуются новые крупные таксоны, т.е. эволюция приобретает характер макроэволюции. Естественно, этот процесс занимает миллионы лет. Подобные явления, которыми богата история Земли (меловой кризис и т.п.), называются экологическими кризисами.

Масштаб, периодичность и иные параметры экологического кризиса в сравнении с бедствиями и катастрофами приведены в табл. 13.3. Наиболее ярким примером экологического кризиса могут служить кардинальные изменения в биосфере, произошедшие в середине мелового периода, около 95—105 млн лет назад.

Параметры нарушений различного уровня

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Бедствие | Катастрофа | Кризис |
| Уровень | Популяция | Сообщество | Биогеографическая область |
| Периодичность | 1—2 раза в год | 1 раз в 100 — 200 лет | 1 раз всотни млн лет |
| Масштаб | Локальный | Региональный | Глобальный |
| Цикличность | Полная | Сложная | Отсутствует |
| Воздействующий фактор | Частый, случайный | Более редкий, закономерный | Очень редкий, непредсказуемый |
| Последствия | Изменения структуры сообщества | Повторение сукцессии | Смена фауны и флоры |

В отложениях мелового периода в большом количестве появляются остатки цветковых растений. Ботаники считают, что эта группа возникла значительно раньше, но долгое время не играла существенной роли в биосфере. Отдельные находки пыльцы встречаются в нижнем мелу, там же обнаружены и первые остатки листьев этих растений. К концу нижнего мела таких остатков становится значительно больше. Основной перелом совершился приблизительно в течение 20 млн лет в конце раннего —начале позднего мелового периода. В позднем меловом периоде покрытосеменные обильно представлены уже повсеместно — их экспансия приобретает глобальный характер. Одновременно вымирает большинство ранее многочисленных растений (беннеттитовые, саговники).

На тот же период приходится пик вымирания семейств насекомых и обновление их фауны. Эти изменения в мире растений и насекомых не могли не сказаться и на наземных позвоночных. Известно, что число видов наиболее изученной группы — динозавров — сильно уменьшилось в середине мелового периода, хотя их полное вымирание произошло позднее. Значительные изменения испытали и другие группы рептилий — ящерицы, черепахи, крокодилы; змеи впервые появились в позднем меловом периоде. К концу нижнего мела относятся первые находки плацентарных млекопитающих. Возможно, что в меловом периоде уже были богато представлены птицы.

Таким образом, экспансия покрытосеменных и вытеснение ими господствовавших ранее продуцентов приводит к почти полной смене фауны. Смена фауны насекомых — следствие изменений в составе растительности; насекомые самым непосредственным образом связаны с растительностью: опыление, питание, создаваемый растениями микроклимат. Изменение состава позвоночных было вызвано преобразованиями не только в мире растений, но и изменением состава насекомых. Более того, обладая иным, чем у доминировавших ранее групп растений, метаболизмом, покрытосеменные должны были изменить химический состав среды своего обитания и сделать ее непригодной для жизни многих организмов, с которыми они прямо не конкурировали. Преобразованиям могли подвергнуться атмосфера, почвы и водоемы. Смена растительности оказала воздействие на сток рек, распределение почвенных вод, атмосферную циркуляцию, а через вариации содержания углекислоты в атмосфере — на атмосферный баланс планеты.

Покрытосеменные обусловили предпосылки для формирования новых сообществ, которые в отличие от старых первоначально были ненасыщены и потому нестабильны. Обилие незаполненных ниш и слабая конкуренция вызвали компенсатбрные эволюционные преобразования и появление новых групп из уцелевших остатков прежней фауны. Скорость этого процесса, вначале небольшая, увеличилась с ускорением вымирания древней фауны, а затем, по мере насыщения экосистем, вновь уменьшилась. Сложившиеся в результате новые стабильные сообщества сохранили свои главные черты до наших дней.

Сведения о меловом экологическом кризисе дают возможность сделать ряд выводов, непосредственно связанных с проблемами охраны природы. Эффект, произведенный в экосистемах внедрением покрытосеменных растений, был тем самым эффектом, которого стремится избежать человечество. Его размах красноречиво свидетельствует о размерах экологической опасности. Достаточно сказать, что для выхода экосистем из состояния кризиса потребовалось более 30 млн лет — геологически длительный отрезок времени.

Другой вывод касается самого характера кризиса. Во-первых, распад экосистем происходит скачкообразно. Во-вторых, он вызывает компенсаторные эволюционные явления и возникновение новых групп организмов — происходит одновременная эволюция множества растений и животных. Возникает реальная угроза лавинообразного формирования новых видов организмов с непредсказуемыми свойствами! Насколько радикально новыми могут быть эти свойства, видно хотя бы из того факта, что в ходе мелового экологического кризиса появились все общественные насекомые — термиты, муравьи, осы и пчелы, тогда как до этого насекомых с социальным образом жизни не существовало