Муниципальное общеобразовательное учреждение

«Большеелховская средняя общеобразовательная школа»

Лямбирского муниципального района Республики Мордовия

**Основные понятия экологии**

**Подготовила учитель биологии МОУ « Большеелховская СОШ» Паршина Л.М.**

**Экология** – это наука о взаимоотношениях живых существ между собой и с окружающей их природой, о структуре и функционировании надорганизменных систем.   
Термин «экология» в 1866 г. ввел немецкий эволюционист Эрнст Геккель. Э. Геккель считал, что экология должна изучать различные формы борьбы за существование. В первичном значении, экология – это наука об отношениях организмов к окружающей среде (от греч. «oikos» – жилище, местопребывание, убежище).   
Экология, как и любая наука, характеризуется наличием собственного объекта, предмета, задач и методов (объект – это часть окружающего мира, которая изучается данной наукой; предмет науки – это наиболее главные существенные стороны ее объекта).   
Объектом экологии являются биологические системы надорганизменного уровня: популяции, сообщества, экосистемы (Ю. Одум, 1986).   
Предметом экологии являются взаимоотношения организмов и надорганизменных систем с окружающих их органической и неорганической средой (Э. Геккель, 1870; Р. Уиттекер, 1980; Т. Фенчил, 1987).   
Все организмы на Земле существуют в определенных условиях. Та часть природы, которая окружает живой организм и с которой он непосредственно взаимодействует, называется среда обитания. Отдельные свойства или элементы среды, воздействующие на организм, называются экологические факторы. Факторы, которые необходимы для существования определенного вида, называются факторами–ресурсами. Факторы, которые приводят к снижению численности вида (к егоэлиминации), называются элиминирующими факторами.   
Различают три основные группы экологических факторов: абиотические, биотические и антропогенные.   
**Абиотические факторы**   
К абиотическим факторам относятся разнообразные воздействия неживых (физико-химических) компонентов природы на биологические системы. Выделяют следующие основные абиотические факторы:   
– световой режим (освещенность);   
– температурный режим (температура);   
– водный режим (влажность),   
– кислородный режим (содержание кислорода);   
– физико-механические свойства среды (плотность, вязкость, давление);   
– химические свойства среды (кислотность, содержание разнообразных химических веществ).   
Кроме того, существуют дополнительные абиотические факторы: движение среды (ветер, течение воды, прибой, ливни),неоднородность среды (наличие убежищ).   
Неблагоприятные факторы, вызывающие стресс, называются стрессорами.   
Иногда действие абиотических факторов приобретает катастрофический характер: при пожарах, наводнениях, засухах. При крупных природных и техногенных катастрофах может наступать полная гибель всех организмов.   
Биотические факторы   
К биотическим факторам относятся разнообразные способы взаимодействия организмов между собой. Все взаимодействия организмов можно разделить на внутривидовые и межвидовые, прямые и косвенные.   
**Различают множество типов парных взаимодействий:**   
**1**. **Трофические** – связанные с питанием и потоками энергии:   
– прямые: взаимодействия «хищник–жертва», «паразит–хозяин»;   
– косвенные: конкуренция; трофический симбиоз.   
**2. Топические** – связанные с изменением условий обитания:   
– прямые топические: одни организмы изменяют среду обитания для других;   
– форические: перенос организмов одного вида организмами другого вида;   
– фабрические: организмы (или их части) одного вида используются организмами другого вида как строительный материал.   
**3. Информационно-сигнальные** – связанные с передачей информации:   
– реципрокный альтруизм (взаимопомощь);   
– мимикрия (миметизм, или подражание).   
**Антропогенные факторы**   
Антропогенные факторы – это проявления деятельности человеческого общества, изменяющие среду обитания для разнообразных организмов.   
Антропогенные факторы, как правило, действуют косвенно, посредством изменения действия абиотических и биотических факторов. Например, при рубках ухода в хвойно-широколиственных лесах создаются благоприятные условия для большинства мелких воробьиных птиц, но вырубка дуплистых деревьев снижает численность дуплогнездников(голубя–клинтуха, сов, мухоловок).   
В то же время, велико и прямое воздействие антропогенных факторов: вырубка лесов, браконьерская охота и рыбная ловля, изъятие из природы редких и ценных видов (например, с целью коллекционирования или продажи).   
Выделяется несколько типов антропогенных воздействий:   
– Точечные воздействия – например, отдельные источники загрязнений.   
– Линейные воздействия – например, дороги, нефтепроводы, линии электропередач.   
– Воздействия на обширных территориях – например, распашка степей, вырубка лесов.   
– Глобальные воздействия – например, изменение содержания углекислого газа в атмосфере.   
**Общая характеристика действия экологических факторов**   
Любой организм должен быть определенным образом приспособлен к воздействию специфических экологических факторов. Разнообразные приспособления организмов называются адаптации. Благодаря разнообразию адаптаций возможно распределение выживаемости организмов в зависимости от интенсивности действия экологического фактора.   
Значения экологического фактора, которые наиболее благоприятны для данного вида, называются оптимальными, или просто экологическим оптимумом. Те же значения фактора, которые неблагоприятны для данного вида, называютсяпессимальными, или просто экологическим пессимумом. Существует закон экологического оптимума, согласно которому выживаемость организмов достигает максимума при значениях данного экологического фактора, близких к его среднему значению.   
В простейшем случае зависимость выживаемости от действия одного фактора описывается уравнениями нормального распределения, которым соответствуют колоколообразные кривые нормального распределения. Эти кривые иначе называются кривые толерантности, или кривые Шелфорда.   
В качестве примера рассмотрим зависимость плотности (выживаемости) некоторой популяции растений от кислотности почвы.   
Видно, что популяции данного вида растений достигают максимальной плотности при значениях рН, близких к 6,5 (слабокислые почвы). Значения рН приблизительно от 5,5 до 7,5 образуют для данного вида зону экологического оптимума, или зону нормальной жизнедеятельности. При уменьшении или повышении рН плотность популяции постепенно уменьшается. Значения рН меньше 5,5 и больше 7,5 образуют две зоны экологического пессимума, или зоны угнетения. Значения рН меньше 3,5 и больше 9,5 образуют зоны гибели, в которых организмы данного вида существовать не могут.   
**Экологическая ниша**   
Экологическая ниша – это совокупность всех связей вида со средой обитания, которые обеспечивают существование и воспроизведение особей данного вида в природе.   
Термин экологическая ниша предложил в 1917 г. Дж. Гриннелл для характеристики пространственного распределения внутривидовых экологических группировок.   
Первоначально понятие экологической ниши было близко к понятию местообитание. Но в 1927 г. Ч. Элтон определил экологическую нишу как положение вида в сообществе, подчеркнув особую важность трофических связей. Отечественный эколог Г. Ф. Гаузе расширил это определение: экологическая ниша – это место вида в экосистеме.   
В 1984 г. С. Спурр и Б. Барнес выделили три компонента ниши: пространственный (где), временной (когда) и функциональный (как). В этой концепции ниши подчеркивается важность как пространственного, так временного компонента ниши, включающего ее сезонные и суточные изменения с учетом цирканных и циркадных биоритмов.   
Часто используется образное определение экологической ниши: местообитание – это адрес вида, а экологическая ниша – его профессия (Ю. Одум).   
В 1957-1965 гг. Дж. Хатчинсон определил экологическую нишу как часть экологического гиперпространства, в которой возможно существование и воспроизведение вида. В обычном физическом пространстве положение точки описывается с помощью ее проекции на три взаимно перпендикулярные координатные оси. При добавлении временной координатной оси образуется четырехмерное пространство–время, которое уже нельзя представить графически. Экологическое гиперпространство представляет собой n-мерное пространство, в котором координаты точек определяются проекциями на оси градаций множества экологических факторов: абиотических, биотических, антропогенных. Экологическое гиперпространство отличается от экологического спектра тем, что учитывает взаимодействие экологических факторов между собой в пространстве и времени.   
Экосистема – это любое единство, включающее все организмы и весь комплекс физико-химических факторов и взаимодействующее с внешней средой. Экосистемы – это основные природные единицы на поверхности Земли.   
Учение об экосистемах было создано английским ботаником Артуром Тенсли (1935).   
Для экосистем характерен разного рода обмен веществ не только между организмами, но и между их живыми и неживыми компонентами. При изучении экосистем особое внимание уделяется функциональным связям между организмами, потокам энергии и круговороту веществ.   
Пространственно-временные границы экосистем могут выделяться достаточно произвольно. Экосистема может быть идолговечной (например, биосфера Земли), и кратковременной (например, экосистемы временных водоемов). Экосистемы могут быть естественными и искусственными. С точки зрения термодинамики, естественные экосистемы – всегда открытые системы (обмениваются с внешней средой веществом и энергией); искусственные экосистемы могут быть изолированными (обмениваются с внешней средой только энергией).   
**Биогеоценозы.** Параллельно с учением об экосистемах развивалось и учение о биогеоценозах, созданное Владимиром Николаевичем Сукачевым (1942).   
Биогеоценоз – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, растительности, животного мира и микроорганизмов, почвы, горной породы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействий слагающих компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии.   
**Биогеоценозы характеризуются следующими чертами:**   
– биогеоценоз связан с определенным участком земной поверхности; в отличие от экосистемы пространственные границы биогеоценозов не могут быть проведены произвольно;   
– биогеоценозы существуют длительное время;   
– биогеоценоз – это биокосная система, представляющая собой единство живой и неживой природы;   
– биогеоценоз – это элементарная биохорологическая ячейка биосферы (то есть биолого-пространственная единица биосферы);   
– биогеоценоз – это арена первичных эволюционных преобразований (то есть эволюция популяций протекает в конкретных естественноисторических условиях, в конкретных биогеоценозах).   
Таким образом, как и экосистема, биогеоценоз представляет собой единство биоценоза и его неживой среды обитания; при этом основой биогеоценоза является биоценоз. Понятия экосистемы и биогеоценоза внешне сходны, но, в действительности, они различны. Иначе говоря, любой биогеоценоз – это экосистема, но не любая экосистема – биогеоценоз.   
**Структура экосистемы**   
Поддержание жизнедеятельности организмов и круговорот веществ в экосистеме возможны только за счет постоянного притока высокоорганизованной энергии. Основным первичным источником энергии на Земле является солнечная энергия.   
В экосистемах наблюдается постоянный поток энергии, которая переходит из одной формы в другую.   
Фотосинтезирующие организмы переводят энергию солнечного света в энергию химических связей органических веществ. Эти организмы являются производителями, или продуцентами органического вещества. В большинстве случаев функции продуцентов в экосистемах выполняют растения.   
Гетеротрофные организмы получают энергию при поглощении органических веществ и называются потребителями, иликонсументами. Существуют консументы первого порядка (растительноядные организмы, или фитофаги), второго порядка (организмы, питающиеся фитофагами, или зоофаги) и высших порядков (хищники и сверх–хищники, паразиты исверх–паразиты). В большинстве случаев функции консументов в экосистемах выполняют животные. Организмы, которые специализируются на добывании строго определенной пищи, называются монофаги. Организмы, которые могут питаться различной пищей, называются полифаги. Для полифагов характерен широкий спектр питания, включающий основную, второстепенную и случайную пищу.   
Погибшие организмы и отходы жизнедеятельности в любой форме потребляются организмами, разрушающими мертвое органическое вещество до неорганических веществ – редуцентами, или деструкторами. К редуцентам относятся различные животные (как правило, беспозвоночные), грибы, прокариоты:   
– **некрофаги** – трупоеды;   
– **копрофаги** (копрофилы, копротрофы) – питаются экскрементами;   
– **сапрофаги** (сапрофиты, сапрофилы, сапротрофы) – питаются мертвым органическим веществом (опавшими листьями,линочными шкурками); к сапрофагам относятся:   
**– ксилофаги** (ксилофилы, ксилотрофы) – питаются древесиной;   
**– кератинофаги** (кератинофилы, кератинотрофы) – питаются роговым веществом;   
**– детритофаги** – питаются полуразложившимся органическим веществом;   
– **окончательные минерализаторы –** полностью разлагают органическое вещество.   
Продуценты и редуценты обеспечивают круговорот веществ в экосистеме: окисленные формы углерода и минеральных веществ превращаются в восстановленные и наоборот; происходит превращение неорганических веществ в органические, а органических – в неорганические.   
**Пищевые цепи**   
При последовательной передаче энергии от одних организмов к другим образуются пищевые (трофические) цепи.   
Трофические цепи, которые начинаются с продуцентов, называются пастбищные цепи, или цепи выедания. Отдельные звенья пищевых цепей называются трофические уровни. В пастбищных цепях выделяют следующие уровни:   
1-й уровень – продуценты (растения);   
2-й уровень – консументы первого порядка (фитофаги);   
3-й уровень – консументы второго порядка (зоофаги);   
4-й уровень – консументы третьего порядка (хищники);   
5-й уровень – консументы высших порядков (сверх–хищники, паразиты и сверх–паразиты).   
Погибшие организмы и отходы жизнедеятельности каждого уровня разрушаются редуцентами. Трофические цепи, которые начинаются с редуцентов, называются детритные цепи. Детритные цепи являются основой существования зависимых экосистем, в которых органического вещества, произведенного продуцентами, недостаточно для обеспечения энергией консументов (например, глубоководные экосистемы, экосистемы пещер, экосистемы почвы). В этом случае существование экосистемы возможно за счет энергии, содержащейся в мертвом органическом веществе.   
Органическое вещество, находящееся на каждом трофическом уровне, может потребляться различными организмами и различными способами. Один и тот же организм может относиться к разным трофическим уровням. Таким образом, в реальных экосистемах пищевые цепи превращаются в пищевые сети.   
Ниже приведен фрагмент пищевой сети смешанного леса.   
**Продуктивность трофических уровней**   
Количество энергии, проходящее через трофический уровень на единице площади за единицу времени, называется продуктивностью трофического уровня. Продуктивность измеряется в ккал/га·год или других единицах (в тоннах сухого вещества на 1 га за год; в миллиграммах углерода на 1 кв. метр или на 1 куб. метр за сутки и т. д.).   
Энергия, поступившая на трофический уровень, называется валовой первичной продуктивностью (для продуцентов) илирационом (для консументов). Часть этой энергии расходуется на поддержание процессов жизнедеятельности (метаболические затраты, или затраты на дыхание), часть – на образование отходов жизнедеятельности (опад у растений, экскременты, линочные шкурки и иные отходы у животных), часть – на прирост биомассы. Часть энергии, затраченная на прирост биомассы, может быть потреблена консументами следующего трофического уровня.   
Энергетический баланс трофического уровня может быть записан в виде следующих уравнений:   
(1) валовая первичная продуктивность = дыхание + опад + прирост биомассы   
(2) рацион = дыхание + отходы жизнедеятельности + прирост биомассы   
Первое уравнение применяется по отношению к продуцентам, второе – по отношению к консументам и редуцентам.   
Разность между валовой первичной продуктивностью (рационом) и затратами на дыхание называется чистой первичной продуктивностью трофического уровня. Энергия, которая может быть потреблена консументами следующего трофического уровня, называется вторичной продуктивностью рассматриваемого трофического уровня.   
При переходе энергии с одного уровня на другой часть ее безвозвратно теряется: в виде теплового излучения (затраты на дыхание), в виде отходов жизнедеятельности. Поэтому количество высокоорганизованной энергии постоянно уменьшается при переходе с одного трофического уровня на последующий. В среднем на данный трофический уровень поступает . 10 % энергии, поступившей на предыдущий трофический уровень; эта закономерность называется правилом «десяти процентов», или правилом экологической пирамиды. Поэтому количество трофических уровней всегда ограничено (4-5 звеньев), например, уже на четвертый уровень поступает только 1/1000 часть энергии от поступившей на первый уровень.   
   
**Динамика экосистем**   
В формирующихся экосистемах на образование вторичной продукции расходуется лишь часть прироста биомассы; в экосистеме происходит накопление органического вещества. Такие экосистемы закономерно сменяются другими типами экосистем. Закономерная смена экосистем на определенной территории называется сукцессия. Пример сукцессии: озеро > зарастающее озеро >болото > торфяник > лес.   
**Различают следующие формы сукцессий:**   
– первичные – возникают на ранее незаселенных территориях (например, на незадернованных песках, скалах); биоценозы, первоначально формирующиеся в таких условиях, называются пионерными сообществами;   
– вторичные – возникают в нарушенных местообитаниях (например, после пожаров, на вырубках);   
– обратимые – возможен возврат к ранее существовавшей экосистеме (например, березняк > гарь > березняк > ельник);   
– необратимые – возврат к ранее существовавшей экосистеме невозможен (например, уничтожение реликтовых экосистем; реликтовая экосистема – это экосистема, сохранившаяся от прошлых геологических периодов);   
– антропогенные – возникающие под воздействием человеческой деятельности.   
Накопление органического вещества и энергии на трофических уровнях приводит к повышению устойчивости экосистемы. В ходе сукцессии в определенных почвенно-климатических условиях формируются окончательныеклимаксные сообщества. В климаксных сообществах весь прирост биомассы трофического уровня расходуется на образование вторичной продукции. Такие экосистемы могут существовать бесконечно долго.   
В деградирующих (зависимых) экосистемах энергетический баланс отрицательный – энергии, поступившей на низшие трофические уровни, недостаточно для функционирования высших трофических уровней. Такие экосистемы неустойчивы и могут существовать только при дополнительных затратах энергии (например, экосистемы населенных пунктов и антропогенных ландшафтов). Как правило, в деградирующих экосистемах число трофических уровней снижается до минимума, что еще больше увеличивает их неустойчивость.   
   
Представления о биосфере как «области жизни» и наружной оболочке Земли восходят к Ж. Б. Ламарку. Термин «биосфера» ввел австрийский геолог Эдуард Зюсс (1875), который понимал биосферу как тонкую пленку жизни на земной поверхности, которая в значительной мере определяет «лик Земли». Однако целостное учение о биосфере разработал российский ученый Владимир Иванович Вернадский (1926).   
В настоящее время существует множество подходов к определению понятия «биосфера».   
Биосфера – это геологическая оболочка Земли, сложившаяся в ходе исторического развития органического мира.   
Биосфера – это активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба.   
Биосфера – это оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной жизнедеятельностью живых организмов; это самая большая из известных экосистем.   
**Структура биосферы**   
Биосфера включает в свой состав как витасферу (совокупность живых организмов), так и суммарные результаты деятельности ранее существовавших организмов: атмосферу, гидросферу, литосферу.   
Область, в которой регулярно встречаются живые организмы, называется эубиосфера (собственно биосфера). Общая толщина эубиосферы . 12-17 км.   
По отношению к эубиосфере выделяют следующие слои биосферы:   
– апобиосфера – лежит над парабиосферой – живые организмы не встречаются;   
– парабиосфера – лежит над эубиосферой – организмы попадают случайно;   
– эубиосфера – собственно биосфера, где организмы встречаются регулярно;   
– метабиосфера – лежит под эубиосферой – организмы попадают случайно;   
– абиосфера – лежит под метабиосферой – живые организмы не встречаются.   
Аэробиосфера – включает нижнюю часть атмосферы. В состав аэробиосферы входят:   
а) тропобиосфера – до высоты 6...7 км;   
б) альтобиосфера – до нижней границы озонового экрана (20...25 км).   
Озоновый экран – это слой атмосферы с повышенным содержанием озона. Озоновый экран поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, которое губительно действует на все живые организмы. В последние десятилетия в приполярных областях наблюдаются «озоновые дыры» – области с пониженным содержанием озона.   
Гидробиосфера – включает всю гидросферу. Нижняя граница гидробиосферы . 6...7 км, в отдельных случаях – до 11 км. К гидробиосфере относятся:   
а) аквабиосфера – реки, озера и другие пресные воды;   
б) маринобиосфера – моря и океаны.   
Террабиосфера – поверхность суши. К террабиосфере относятся:   
а) фитосфера – зона обитания наземных растений;   
б) педосфера – тонкий слой почвы.   
Литобиосфера. Нижняя граница литобиосферы . 2...3 км (реже – до 5...6 км) на суше и . 1...2 км ниже дна океана. Живые организмы в составе литобиосферы встречаются редко, однако осадочные породы в составе биосферы возникли под влиянием жизнедеятельности организмов.   
В.И. Вернадский выделил в составе биосферы 7 типов веществ: живое вещество, биогенное вещество (ископаемое горючее, известняки), косное вещество (изверженные горные породы), биокосное вещество (почва), радиоактивноевещество, рассеянные атомы и вещество космического происхождения.   
**Функции живого вещества в биосфере разнообразны:**   
– Энергетическая – аккумуляция солнечной энергии в ходе фотосинтеза; за счет солнечной энергии протекают все жизненные явления на Земле.   
– Газовая – состав современной атмосферы (в частности, содержание кислорода и углекислого газа) сложился, в значительной мере, под воздействием жизнедеятельности организмов.   
– Концентрационная – в результате жизнедеятельности организмов сложились все виды ископаемого топлива, многих руд, органическое вещество почвы и т.д.   
– Окислительно-восстановительная – в ходе жизнедеятельности живых организмов постоянно протекают окислительно-восстановительные реакции, обеспечивающие круговорот и постоянные превращения углерода, водорода, кислорода, азота, фосфора, серы, железа и других элементов.   
– Деструкционная – в результате разрушения погибших организмов и продуктов их жизнедеятельности происходит превращение живого вещества в косное, биогенное и биокосное.   
– Средообразующая – организмы различным образом преобразуют физико-химические факторы среды.   
– Транспортная – перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении.   
**Взаимосвязь между компонентами биосферы**   
Растения являются продуцентами органического вещества, поэтому именно с них в экосистемах всегда начинаются цепивыедания, или пастбищные цепи. Микроорганизмы–редуценты осуществляют перевод элементов из органической формы внеорганическую. Хемосинтезирующие организмы изменяют степени окисления элементов, переводят их из нерастворимой формы в растворимую, и наоборот.   
Таким образом, с помощью растений и микроорганизмов осуществляется круговорот углерода, кислорода и элементов минерального питания.   
Общая масса живого вещества биосферы составляет 2.500.000.000.000 тонн (или 2,5 триллиона тонн). Ежегодная продукция растений Земли превышает 120 млрд. тонн (в пересчете на сухое вещество). При этом поглощается примерно 170 млрд. тонн углекислого газа, расщепляется 130 млрд. тонн воды, выделяется 120 млрд. тонн кислорода и запасается 400·1015 килокалорий солнечной энергии. В процессы синтеза и распада ежегодно вовлекается около 2 млрд. тонн азота и около 6 млрд. тонн фосфора, калия, кальция, магния, серы, железа и других элементов. За 2 тысячи лет весь кислород атмосферы проходит через растения.   
Перемещение элементов по цепям (сетям) питания называется биогенная миграция атомов. Подвижные животные (птицы, рыбы, крупные млекопитающие) способствуют перемещению элементов на значительные расстояния.   
   
  **Основные законы экологии популярно сформулированы американским экологом Б. Коммонером**.   
Первый закон: «Всё связано со всем». Небольшой сдвиг в одном месте экологи-   
ческой сети может вызвать значительные и долговременные последствия совсем в другом.   
Второй закон: «Всё должно куда-то деваться». В сущности, это переформулировка хорошо известного закона сохранения материи. Б. Коммонер пишет: «Одна из главных причин нынешнего кризиса окружающей среды состоит в том, что огромные количества разных веществ извлечены из земли, где они были в связанном виде, преобразованы в новые, часто весьма активные и далекие от природных соединений» («Замыкающий круг», 1974).   
Третий закон: «Природа знает лучше». Устойчивые при- родные экологические системы — сложнейшие образования, и организация их произошла в результате эволюционного развития, отбора из множества вариантов. Поэтому логично предположить, что природный — лучший вариант и каждый новый вариант будет хуже. Но это не значит, что природу нельзя изменять, улучшать, приспосабливать к интересам человека, просто делать это необходимо грамотно, опираясь на строгие научные знания о природе и предусмотрев все возможные отрицательные последствия.   
Четвертый закон: «Ничто не дается даром» или «За всё надо платить». Смысл этого закона в том, что мировая экосистема представляет собой единое целое и, изменяя ее в какой-то незначительной мере в одном   
месте, мы должны научно предусмотреть, какие сдвиги могут произойти в других местах. То, что человек отнял у природы или испортил, он должен исправить и вернуть. Иначе начнутся такие сдвиги, которые трудно не только исправить, но даже предвидеть. Могут развиться изменения, которые будут угрожать существованию человеческой цивилизации.