

Экология как наука
Кратная история экологии.
Цели и задачи экологии.
Основные методы экологии.

Термин «*экология*» происходит от древнегреческих слов *οἶκος* - обиталище, жилище, дом, имущество и *λόγος* - понятие, учение, наука

С термином «*экология*» весьма сходен термин «*экономика*», в котором древнегреческое слово *οἶκος* означает определенную территорию, ведение хозяйства на ней.

Отсюда дословно, экология - это наука о доме, в котором мы живем, а экономика - наука о ведении домашнего хозяйства.

Экология и экономика в настоящее время тесно взаимосвязаны и не только по созвучию, хотя они часто находятся в конфликтных отношениях. С дальнейшим развитием человеческого общества эта связь будет все более укрепляться.

От того будет ли найдена между ними гармония или хотя бы взаимовыгодное сотрудничество во многом зависит будущее человечества.

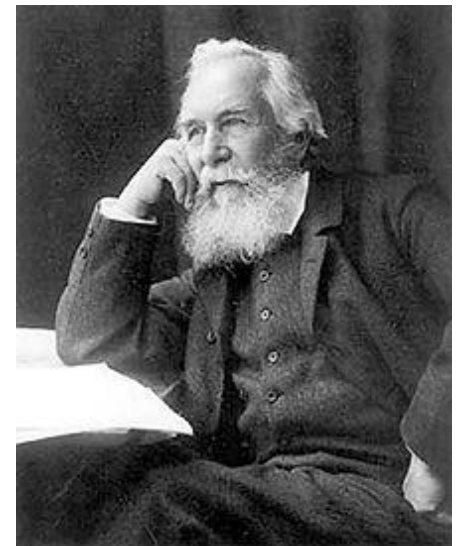
Считается, что термин «экология» предложил немецкий биолог и эволюционист *Эрнст Геккель* в 1866 г. в своей книге «Всеобщая морфология организмов».

В своей последующей и наиболее известной книге «Естественная история миротворения» (1869) он дал такое пространное определение экологии:

Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего – его дружеских или враждебных отношений с теми животными или растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт.

Одним словом, экология - это изучение всех сложных взаимодействий, которые Дарвин называет условиями, порождающими борьбу за существование.

Эрнст Геккель (1834 – 1919)



Таким образом, толчком к формулировке понятия «экология» явилась эволюционная теория *Чарлза Дарвина* (1809 – 1882), изложенная в книге «Происхождение видов посредством естественного отбора», вышедшей в 1859 г.

Одним из ключевых ее положений является представление о *естественном отборе как важнейшем факторе эволюции организмов*.

Естественный отбор осуществляется посредством дифференцированной смертности особей под воздействием факторов внешней среды и выживания наиболее приспособленных из них.

Современное определение экологии как биологической науки дал *Джин Ликенс* в 1992 г. в своей книге «Экосистемный подход. Его правомерное и неправомерное использование»:

«Экология является научным изучением процессов, определяющих численность и распространение организмов, взаимодействие между организмами и взаимодействие организмов с потоками и трансформацией энергии и вещества».

На 5-м Международном экологическом конгрессе (Япония, 1990 г.) экология определена как:

«...Биологическая наука, которая исследует структуру и функционирование систем надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы) в пространстве и времени в естественных и измененных человеком условиях».

Краткая история экологии

Хотя термин «экология» предложил Э.Геккель, он не только не был основателем этой науки, но даже не внес в ее развитие практически никакого вклада.

Основами экологических знаний люди располагали еще в глубокой древности. Первобытным людям для выживания необходимы были определенные знания об окружающем их мире - природных явлениях, образе жизни и распространении охотничьих животных и хищников, местах произрастания съедобных растений и т.д.

Разрозненные экологические сведения встречаются в древней индийской и китайской литературе, в книгах древнегреческих и римских натуралистов.

Определенные экологические сведения можно найти уже в естественно-научных трудах античных ученых, особенно у *Аристотеля* – основателя научной зоологии и *Теофраста* – основателя научной ботаники (IV век до н.э.).

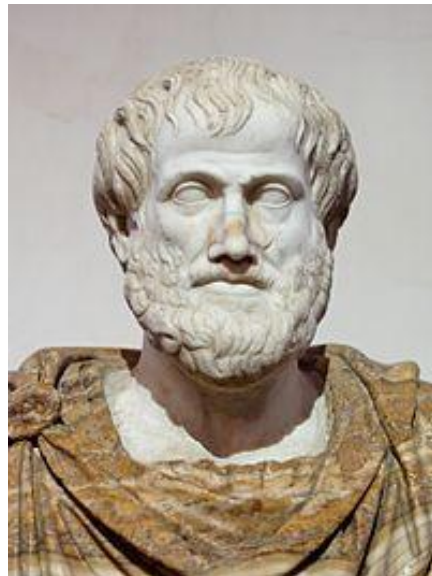
Последний описал биологические особенности более 500 видов растений, произраставших в Восточном Средиземноморье и Юго-Западной Азии.

Выдающийся древнегреческий ученый *Аристотель* (384 – 322 гг. до н.э.) в своей книге «О частях животных» описал строение и образ жизни около 500 видов водных и наземных животных.

В другом труде «История животных» Аристотель описал разные виды хищных животных и их отношения со своими жертвами. В частности, он указал на значении хищников – лисы и хоря в сдерживании роста численности мышевидных грызунов.

Аристотель ввел понятия «род» и «вид», выделил важнейшие таксономические группы животных, в их числе «теплокровных» и «холоднокровных». Он доказал, что киты и дельфины не рыбы, а млекопитающие.

Аристотель



Кроме того, Аристотель являлся домашним учителем *Александра Македонского*.

В 332 году до н.э., по свидетельству Аристотеля, Александр Македонский во время осады финикийского города Тира на побережье Средиземного моря спускался на морское дно в водолазном колоколе – перевернутом стеклянном сосуде, наполненном воздухом.

Как отметил летописец - *«чудеса Божьи изумления всяческого достойны»*, произнес царь Македонии, вновь оказавшись на суше.



Александр Македонский



В Средние века в Западной Европе можно выделить странствующего итальянского монаха *Франциска Ассизского* (1182 – 1226), основателя ордена францисканцев, после смерти объявленного Ватиканом святым.

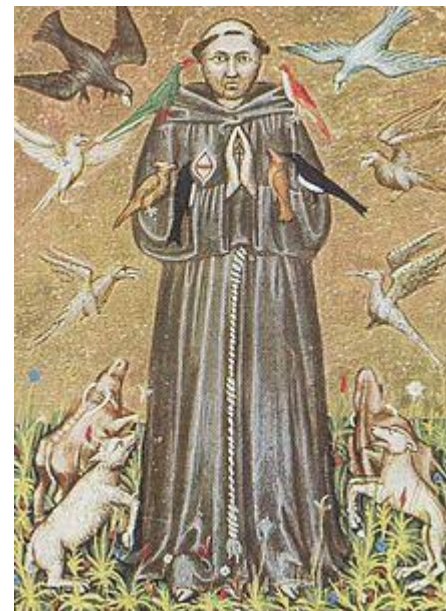
В его проповедях можно при желании увидеть призывы к охране природы; как например, его высказывание «Всякое дыхание существует на Земле по праву».

Поэтому ряд западных ученых рассматривает Франциска Ассизского, как первого эколога и даже предлагают считать его небесным покровителем экологии и всех экологов.



Франциск Ассизский.

Слева – прижизненное изображение на фреске. Справа – его более позднее аллегорическое изображение



Белорусский просветитель *Франциск Скорина* (1490 – 1551) впервые описал явление *хоуминга* (привязанность к месту рождения) у животных:

Панежэ ад прыраджэння звяры, ходзячыя ў пустыні, знаюць ямы свая, пціцы, лятаючыя па воздуху, ведаюць гнёзды свая, рыбы, плываючыя па мору і ў рэках, чуюць віры свая, пчолы і тым падобныя бароняць вуляў сваіх, - така ж і людзі, ігдзе зрадзіліся і ўскормлены суць па Бозе, к таму месту вялікую ласку імаюць.

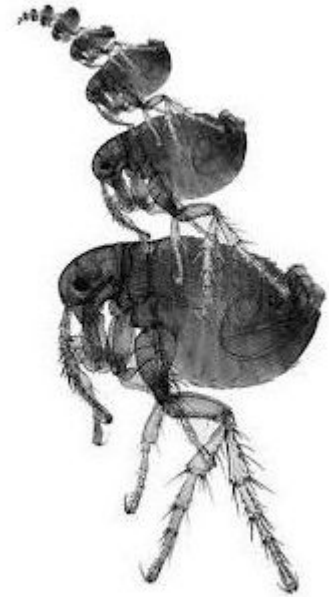
Однако основы экологических представлений в современном понимании этого термина начали закладываться значительно позже, в XVIII столетии, названном Веком Просвещения.

На рубеже XVII и XVIII ст. голландский ученый *Антони ван Левенгук* (1632 – 1723) впервые применил микроскоп для изучения мельчайших живых организмов. Он сформулировал первые достаточно четкие представления о пищевых цепях в сообществах живых существ и механизмах регуляции их численности. Сейчас эти понятия относятся к числу центральных в экологии.

Однако из этого наблюдения ученые того времени сделали неправильный вывод, что пищевые цепи могут быть бесконечными, по крайней мере, у паразитов.

Натуралистами открыты
У паразитов паразиты,
И произвёл переполох
Тот факт, что блохи есть у блох.
И обнаружил микроскоп,
Что на клопе бывает клоп,
Питающийся паразитом.
На нём другой, ad infinitum

Восемнадцатый век. Английский писатель Джонатан Свифт



В трудах германского географа и натуралиста *Александра фон Гумбольдта* (1769 – 1859) заложены основы представлений о природной среде, как о целостном комплексе, объединяющем живые и неживые компоненты

В 1840-м году германский химик и агроном *Юстус фон Либих* (1803 – 1873) достаточно четко сформулировал понятия о факторах внешней среды и лимитирующих факторах.

Значительный вклад в исследования закономерностей влияния внешних факторов на живые организмы в начале XX ст. внес американский ученый *Виктор Шелфорд* (1877 – 1968).

Чарлз Дарвин (1809 - 1882) в своем главном труде «Происхождение видов...» использовал для доказательства существования естественного отбора в природе многочисленные примеры отношений типа «хищник – жертва» и «паразит – хозяин», в его формулировке – между «эксплуатируемыми» и «эксплуатирующими» видами.

Важное значение для становления экологии имели и другие работы Ч.Дарвина. В их числе:

«Происхождение человека и половой отбор»;

«Роль дождевых червей в формировании почвы»;

«Строение и распределение коралловых рифов»;

«Действие перекрёстного опыления и самоопыления в растительном мире».

Крупным шагом на пути к описанию целостных природных комплексов можно считать труды немецкого ученого *Карла Мёбиуса* (1825 - 1908)

В 1877 г. Мебиус, изучая живые организмы, обитающие на устричной банке, предложил термин «*биоценоз*». В его трактовке:

Биоценоз – исторически сложившаяся совокупность живых организмов, населяющих относительно однородное жизненное пространство (определённый участок суши или акватории), и связанных между собой и окружающей их средой.

В 1880 г. германский зоолог *Карл Земпер* (1837 – 1909), опубликовал книгу «Воздействие естественных условий существования на жизнь животных».

Он стал основателем *экологии животных* и такого ее направления, как экология отдельных особей, или *аутэкология*.

Большое значение для популяризации экологических знаний имело появление в конце XIX века многотомного труда немецкого зоолога *Августа Брема* (1829 - 1884) «Жизнь животных».

Основателями экологии растений считаются германский ботаник *Август Гризебах* (1814 - 1879) и датский ботаник *Евгений Варминг* (1841 – 1924), который в 1895 г. опубликовал книгу «Руководство по экологической географии растений».

В тот же период швейцарский ученый *Франсуа Форель* (1841 – 1912) провел комплексное изучение Женевского озера.

Он определил его географические, физические и химические особенности озера, их влияние на обитающих в нем живых организмов.

Эта работа стала первым исследованием природной экосистемы, как единого целого, хотя самого термина «*экосистема*» в тот период еще не существовало.

Таким образом, Ф.Форель положил начало одной из важнейших ветви экологии – *синэкологии*, изучающей экосистемы.

В начале XX столетия начали формироваться представления о *биологической продуктивности природных сообществ*, или об их способности создавать в процессах своего функционирования органическое вещество.

В 1909-1917 гг. датский ученый *П.Бойсен-Иенсен* (1883 – 1959) разработал первый метод расчета продукции водных организмов. Он был впервые использован для расчетов продукции популяций двустворчатых моллюсков в бухте Лимни-фиорд (Дания).

Тем не менее, определение самого термина «*продукция*» дал немецкий эколог « *А.Тинеман* только в 1931 г.

Важным теоретическим обобщением экологии явилось понятие об *экологической нише*. Считается, что впервые этот термин использовал *Р. Джонсон* в 1910 г., однако сходные представления «о функциональной роли вида в экономике природы» можно встретить еще у Дарвина.

Широкое использование этого термина началось после опубликования в 1917 г. работы американского орнитолога *Джозефа Гринелла* (1877 - 1939), в которой описывались условия существования калифорнийского пересмешника в чаппарали.

В 1931-1935 гг. русский эколог *Г.Ф. Гаузе* (1910 – 1986) *выдвинул принцип конкурентного исключения*, согласно которому два вида не могут длительное время сосуществовать в одной экологической нише.

В 1957 г. американский зоолог *Джорж Хатчинсон* (1903 – 1991) значительно конкретизировал представления об экологической нише, как о совокупности диапазонов факторов среды, в котором вид может существовать и воспроизводить себя.

Тем не менее, на рубеже XIX и XX веков термин «экология» был известен лишь очень узкому кругу специалистов.

Тогда экологию считали лишь одним из разделов зоологии и ботаники, изучающим, преимущественно, влияние факторов внешней среды (сезонные явления, климатические условия и т.д.) на поведение и жизненные циклы животных и растений.

Экология как самостоятельная наука начала формироваться в 1920 - 1940 гг., а полностью этот процесс завершился лишь к 1960-м годам.

В начале этого периода внимание всего научного мира привлекло учение русского геохимика *В.И.Вернадского* (1863 – 1945) о *Биосфере Земли* (1926 г.). Оно стало одним из крупнейших научных и философских обобщений XX века. В нем впервые было четко доказана важнейшая роль жизни, в том числе и разумной, в формировании абиотической среды нашей планеты.

Годом позже (1927 г.) французы *Эдуард Леруа* (1870 - 1954) и *Пьер Тейяр де Шарден* (1881 – 1955) предложили термин «*ноосфера*», т. е «сфера разума». В их представлении ноосфера – особый наобиосферный мыслящий пласт, который окутывает всю Землю.

Напротив, В.И.Вернадский понимал ноосферу как будущую форму взаимодействия Биосферы и человеческого общества, основанную на разумных началах в интересах всего человечества.

В эти же годы сформировались представления о популяциях живых организмов.

Было выяснено, что основными элементами экологических систем являются не отдельные особи, а популяции, в которых происходят процессы важнейшие биологические процессы: воспроизводство, адаптации к факторам среды и микроэволюция.

Большой вклад в становление популяционной экологии внесли английский эколог *Чарлз Элтон* (1900 – 1991), русские генетики *А.С. Серебровский* (1892 – 1948) и *С.С. Четвериков* (1880 - 1959).

Так возникло третье важнейшее (наряду с аутэкологией и синэкологией) подразделение экологии – *популяционная экология*.

Интенсивно изучались отношения между отдельными видами в экосистемах. Важнейшее значение в этом процессе имела разработка *математической модели межвидовых взаимоотношений в системе «хищник – жертва»*, которую независимо друг от друга выполнили математики *Альфред Лотка* (1880 - 1949) и *Вито Вольтерра* (1860 – 1940) в 1925 – 1926 гг.

В ней проанализировано сопряженное изменение численности хищника (рыси) и ее жертвы (зайца) в таежных лесах Канады.

С этой модели началось широкое применение математики не только в экологии, но и в других биологических науках.

В 1936 году английский эколог *Артур Тэнсли* (1871 - 1955) ввел понятие «*экологическая система*», или «*экосистема*», как совокупности организмов, обитающих в определенном объеме пространства и их связей между собой и окружающей средой.

Это понятие сразу же стало центральным в экологических исследованиях.

В 1944 г. русский ботаник В.Н.Сукачев (1880 - 1967) ввел близкое к нему, но значительно более конкретное понятие «*биогеоценоз*».

Еще одним крупнейшим шагом в развитии экологии стала разработка основных концепций нового направления экологии - *экологической биоэнергетики*, изучающей закономерностях трансформации вещества и энергии в экологических системах.

Русский ученый *В.С.Ивлев* (1907 - 1964) на примере водных организмов (рыб и др.) разработал концепцию *энергетического баланса животных*.

Американский ученый *Раймонд Линдеман* (1915 - 1942) в 1942 г. на примере одного из арктических озер впервые показал закономерности трансформации вещества и энергии в экологической системе с выделением понятия *трофического уровня*.

Биоэнергетический подход позволил рассмотреть многие процессы, происходящие в экологических системах с единых энергетических позиций, привести к общему энергетическому знаменателю процессы, происходящие в живой и неживой природе.

Вершиной развития экологической биоэнергетики стало выполнение под эгидой ЮНЕСКО в 1965 - 1975 гг. *Международной биологической программы (МБП)*.

Ее целью стало определение биологической продуктивности всех важнейших регионов Земли и Биосферы в целом.

С 1975 г. под эгидой ЮНЕСКО выполняется новая международная программа «*Человек и Биосфера*», по-английски *M&B*, т.е. “*Man and Biosphere*”. Она охватывает гораздо более широкий круг вопросов и не ограничена временными рамками.

Однако со временем становилось все более очевидным, что, оставаясь только в рамках экологической биоэнергетики, нельзя полностью объяснить и прогнозировать поведение экологических систем. Многие связи в этих системах между отдельными особями и целыми популяциями не носят энергетического характера (т.е. происходят не в трофических цепях по типу «хищник – жертва»).

Большое значение для регуляторных механизмов в экосистемах имеет внутривидовая и межвидовая конкуренция, регуляция через выделяемые организмами метаболиты, феромоны, развитие социальной структуры в отдельных популяциях и т.д.

Оказалось, что в экосистемах и популяциях имеет место не только круговорот вещества и поток энергии, но и *поток информации*, который имеет не меньшее значение в функционировании экосистем.

Еще одним важнейшим теоретическим обобщением современной экологии является разработка концепции *стратегии жизненных циклов*. Ее предложили в 1967 г. американские экологи *Роберт Макартур* (1930 - 1972) и *Эвард Уилсон* (род. 1929).

Однако еще в 1939 г. аналогичные представления развивал русский геоботаник *Л.Г. Раменский* (1884 - 1953) для характеристики различных экологических групп растений.

Р.Макартур также явился основоположником нового направления в экологической биогеографии – *островной биогеографии*.

В 1960-х гг. экология вступила в новую стадию развития. Это обусловлено тем, что широкая общественность начала осознавать опасность все возрастающего влияния человека на природную среду.

Это выявило первостепенное прикладное значение экологии как научной основы для разработки общей стратегии охраны природы и разработки природоохранных мероприятий. Был принят ряд важнейших международных соглашений об охране природы. В их числе:

Протоколы Рио-де-Жанейро 1992 г. о сохранении биологического разнообразия Биосферы и об устойчивом развитии:

Парижская конвенция, заменившая Киотский протокол,
Монреальский протокол,
Орхусская конвенция.

Серьезное осмысление философских проблем экологии началось с работы американского философа *Линн Уайт* «Иудо-христианские корни современного экологического кризиса».

Многие ученые, прежде всего философы, сейчас рассматривают экологию как *метанауку*, равную по статусу биологии, физике, химии, философии и т.д.

Ее предметом они считают изучение всей совокупности связей и взаимоотношений объекта, или системы (как правило, живой или имеющей живую компоненту) с окружающей его средой.

Этим объектом, который принимается за центральный в этих отношениях, может быть, живой организм (в т.ч. человек), природная экосистема, отдельное промышленное предприятие и целый город.

Вклад белорусских ученых в развитие экологии

Во второй половине XIX столетия большой вклад в исследования водоемов Сибири, в частности озера Байкал, внесли выходцы из Беларуси *И.Д.Черский* (1845–1892), *Б.И.Дыбовский* (1833–1930), *В.И.Годлевский* (1833–1900).

Все они были студентами Виленского университета и принимали участие в восстании К.Калиновского (1863 г.). За это они были высланы в Сибирь, где им было позволено заниматься научными исследованиями.

В частности И.Черский открыл горный хребет в Восточной Сибири, названный впоследствии его именем.

Б.И.Дыбовский открыл уникальную эндемичную фауну ракообразных и моллюсков озера Байкал.

В 1920-1930 гг. в Белорусском государственном университете преподавали академик АН СССР *Л.А.Зенкевич*, один из крупнейших специалистов в области морской биологии, и проф. *Н.М.Гайдуков*, специалист в области физиологии и экологии пресноводных водорослей.

Новый этап в развитии белорусской экологии тесно связан с деятельностью **Г.Г.Винберга** (1905 – 1987).

В 1932 г. он разработал методы определения **первичной продукции** водных экосистем, которые были впервые применены на оз. Белом под Москвой.

В 1949 – 1967 гг. Г.Г.Винберг работал в Белорусском государственном университете. По его инициативе была создана Нарочанская биологическая станция. В результате этого оз. Нарочь стало одним из самых изученных пресных водоемов мира.

Ученые белорусской гидроэкологической школы разработали ряд методов расчетов продукции водных экосистем, исследовали закономерности трансформации вещества и энергии в водных экосистемах и мн. др.

По этим позициям белорусская экологическая школа занимала ведущее положение в мировой гидроэкологии.



Основные подразделения экологии

Экологию, как биологическую науку обычно подразделяют на *аутэкологию* и *синэкологию*. Предметами изучения аутэкологии являются отдельные особи, популяции или виды живых организмов.

Раздел аутэкологии, изучающий популяции, называют *популяционной экологией*.

По объектам изучения выделяют *экологию животных* (млекопитающих, птиц, насекомых и др.), *экологию растений*, *экологию микроорганизмов* и т.д.

Среди них особо выделяется *экология человека*. Человек является как биологическим видом *Homo sapiens*, так и социальным существом.

Экология человека находится на стыке биологических и социальных наук, поскольку взаимоотношение человека и среды в значительной степени определяют социальные факторы.

Объектами изучения *синэкологии* являются совокупности видов, или *биоценозы*, которые характерны для тех или иных участков Биосферы, или *экосистем*, взаимоотношения этих видов между собой и со средой обитания.

Выделяют экологию суши, экологию водоемов (которую обычно называют *гидробиологией* или *гидроэкологией*), экологию болот, пустынь, лесов, лугов и т.д.

В связи с бурным развитием экологии появились многочисленные другие подразделения экологии. Многие из них же не являются число биологическими науками, а находятся на стыке экологии и других наук, в первую очередь с медициной, географией, химией и т.д. (*экология ландшафтов, экология городов, инженерная экология*).

Большую актуальность приобрела «факторная экология», т.е. разделы экологии, изучающие особенности воздействия различных факторов среды (природных и антропогенных) на живые организмы.

В условиях Беларуси особое значение приобрела *радиационная экология*, изучающая воздействия ионизирующей радиации (особенно, в результате аварии на Чернобыльской АЭС) на живые организмы, в первую очередь, на человека и природные экосистемы.

Быстро развивается *экстремальная экология*, или наука об организмах и экосистемах, существующих в экстремальных условиях среды, напр., в гидротермальных источниках.

Космическая экология, или *экзоэкология*, имеет два важнейших направления:

I. Изучение влияния факторов космической среды на земные организмы и изучение условий среды на других планетах, потенциально природных для их заселения земными организмами, в том числе и людьми.

II. Изучение экологии живых организмов и экосистем других планет. В частности, поиски доказательств жизни на Марсе, хотя бы в далеком прошлом, ведутся с помощью космических аппаратов, работающих на его поверхности, начиная с 1976 г. Тем не менее, сколько-нибудь убедительных доказательств этого пока не найдено.

Американский марсоход «Кьюриосити»,
работающий на поверхности Марса с
августа 2012 г.



Экология тесно взаимодействует со многими биологическими и иными науками.

В их числе - зоология, ботаника, биохимия, биофизика, физиология, генетика, паразитология и др.

Все достижения экологии быстро усваиваются другими биологическими науками и наоборот.

Появились многочисленные смежные науки — *экологическая физиология, экологическая паразитология, экологическая биохимия, экологическая генетика* и др.

Основные методы экологии

Экология как самостоятельная наука имеет свои специфические методы исследований. Круг этих методов очень широк и разнообразен в зависимости от объектов исследований и поставленных задач.

Понятно, что нельзя исследовать экологию бактерий такими же методами, как экологию слонов. Тем не менее, все экологические методы можно разделить на ряд основных групп.

В первую очередь – это *описательные методы*, которые являлись первыми методами биологических исследований. В их основе лежит наблюдение за состоянием и поведением тех или иных организмов или их популяций в естественных условиях и соотнесение их с изменениями различных факторов внешней среды.

К ним относятся определения динамики численности, биомассы, размерно-возрастной структуры популяций, сезонных и многолетних циклов размножения, миграций и т.п. с параллельным получением данных о состоянии окружающей среды.

В результате развития техники описательные методы претерпели значительное развитие – от простого наблюдения с использованием простейших технических средств (бинокль, кольцевание птиц и т.п.) до сложнейших систем дистанционного слежения с применением электронных и компьютерных технологий. В их числе – датчики, устанавливаемые на птицах, морских млекопитающих и пр., снимки из космоса.

К описательным методам очень близок *сравнительный метод*, при котором производится сравнение данных, полученных для двух или нескольких организмов, популяций, экосистем и т.п.

В особую группу методов выделился *экологический мониторинг*, или постоянное слежение за состоянием определенных природных объектов или целых природных комплексов с целью предупреждения о создающихся критических ситуациях.

В связи с развитием техники дистанционного наблюдения за живыми организмами описательные методы все более сближаются с методами полевых экспериментов.

Поэтому большинство современных полевых исследований по существу представляет собой *неорганизованный эксперимент*.

Экспериментальные методы предполагают непосредственное изучение влияния изменений отдельных экологических факторов на организмы или популяции.

Основоположником экспериментального метода в науке является великий итальянский физик *Галилео Галилей* (1564 – 1642) который впервые провел знаменитый эксперимент по определению скоростей движения шарообразных тел разной массы по наклонной плоскости.

Экспериментальный метод включает
ряд обязательных компонентов:

1. Постановка задачи;
2. Разработка блок-схемы эксперимента (экспериментального дизайна);
3. Создание экспериментальной установки с регистрирующей аппаратурой;
4. Проведение эксперимента;
5. Математическая обработка результатов;
6. Формулировка выявленных закономерностей.

В большинстве экспериментов выделяются *контроль* и *опыт*. Впервые четкое понятие о них ввел французский физик и философ *Блез Паскаль* (1623 – 1662).

Значение одного или нескольких факторов в опыте отличаются от таковых в контроле. Другие факторы остаются достаточно постоянными или изменяются в одинаковой степени в контроле и опыте.

Поэтому если в опыте выявлены достоверные (по сравнению с контролем) изменения определенных параметров организма или популяции, их можно с определенной долей уверенности приписать воздействию именно этого фактора.

Если в эксперименте изменяется один фактор, он называется *однофакторным*, если два или более – *многофакторным*.

Для математической обработки результатов многофакторного эксперимента используются специальные методы математической статистики. В их числе самым известным является *метод дисперсионного анализа ANOVA*.

Эксперименты делятся на *лабораторные*, которые проводятся в достаточно контролируемых лабораторных условиях, и *полевые*, выполняемые в менее контролируемых естественных условиях.

Оба типа экспериментов имеют свои достоинства и недостатки.

Выводы, полученные в лабораторных экспериментах со стандартизированными условиями, часто лишь с осторожностью можно переносить на естественные условия.

С другой стороны, в полевых экспериментах труднее на фоне значительных и часто незакономерных колебаний большого числа природных факторов часто бывает трудно четко выделить влияние изменений исследуемых экспериментатором отдельных факторов на отдельных особей и популяций.

С 1930-х годов начали бурно развиваться *методы математического моделирования* экологических процессов. Первой известной моделью, получившей всеобщее признание, стала модель «хищник – жертва» математиков *А.Лотки* и *В. Вольтерра*. Целый ряд последующих моделей также ставили целью объяснить реальные процессы в популяциях и экологических системах. Особенно выделялись среди них модели, описывающие потоки вещества и энергии в различных экосистемах.

Российские ученые *В.В.Менщуткин* (р. 1930), *В.Ф.Крогиус* и *Е.М.Крохин* в конце 1960-х гг. разработали модель динамики сообщества рыб озера Дальнее (Камчатка). Она стала по существу первой математической моделью целой экосистемы. Ее результаты отличались хорошим соответствием с реальной экологической ситуацией.

Однако многие современные модели часто анализируют гипотетические ситуации, которые даже не имеют места в природе. Поэтому существует определенная опасность в отрыве методов математического моделирования от реального развития экологии.