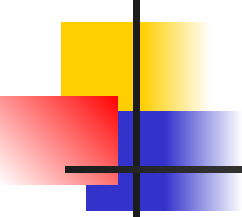


Тема лекции 2. **Экологические модели: основы экологометрики.**

**Основы метрологии.** Применение вариационно-статистического метода при анализе массовых данных в области биологии (в частности в экологии) называют *метрологией*. Предметом метрологии служит любой биологический объект, изучаемый с количественной стороны в целях оценки его **качественного состояния**.

*Особенности предмета метрологии:*

1. Метрология – это прикладная наука, исследующая конкретные биологические объекты с применением математических методов.
2. Метрология – это раздел биологии, содержанием которого является планирование наблюдений.
3. Метрология опирается преимущественно на индуктивный метод, т.е. за основу берутся конкретные факты, которые анализируются с помощью аналитических методов.
4. Объектом изучения метрологии является разнообразие признаков и свойств организмов.
5. Изучение фактов производится в совокупности.
6. Методы метрологии основаны на теории вероятности и ошибок.



---

Теория вероятностей изучает закономерности, присущие массовым (статистическим) случайным событиям. Использование данной теории позволяет оценить вероятность наступления практически важных событий. Допустим, при 1000 бросаний игральной кости цифра 4 выпадает 160 раз. Отношение  $160/1000 = 0,16$  показывает относительную частоту выпадения цифры 4 в данной серии испытаний.

Вероятность  $P(A)$  в теории вероятностей выступает как числовая характеристика степени возможности появления какого-либо определенного случайного события  $A$  при многократном повторении испытаний:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \quad (1)$$

где  $m$  – число благоприятствующих случаев;  
 $n$  – общее число испытаний.

Вероятностью случайного события называют предел, к которому стремится частота события при неограниченном увеличении числа испытаний.

Естественно, что никто и никогда не сможет проделать неограниченное число испытаний для того, чтобы определить вероятность. В этом нет и надобности. Практически за вероятность можно принять относительную частоту события при большом числе испытаний. Так, например, из статистических закономерностей рождения, установленных за много лет наблюдения, вероятность того события, что новорожденный будет мальчиком, оценивают в 0,515.

Понятие "вероятность" связано с понятием "значимость". Так, если мы говорим, об уровне вероятности 0,99 (или 99%), то это в то же время соответствует уровню значимости 0,01 (или 1%).

Уровень значимости показывает, что нахождение генерального параметра за пределами данных границ доверительного интервала может иметь место в результате случайности с вероятностью 0,01 (или 1%), а с вероятностью 0,99 (или 99%) утверждается, что он находится в принятых границах доверительного интервала. Использование уровня значимости удобно в том смысле, что он показывает процент ошибочных случаев.

7. Методы метрологии приемлемы к объектам, имеющим количественные и качественные признаки.

*Изменчивость* – явление различий между особями, принадлежащих к одной родственной группе. Изменчивость присуще всем живым организмам. Она возникает под влиянием условий среды (модификационная изменчивость) или изменения наследственных свойств организма (наследственная изменчивость). В природе наблюдается количественная и качественная изменчивость.

Примером количественной изменчивости могут служить различия по числу эритроцитов в крови, вес животных и человека и др. Примеры качественной изменчивости – это различная окраска цветов, цвет кожи у человека, принадлежность к полу и др.

Во многих случаях качественная изменчивость может быть превращена в количественную. Так, окраска цветов зависит от количества определенного пигмента и степени кислотности клеточного сока.

С помощью методов метрологии можно изучать как количественную, так и качественную изменчивость.



8. Теоретической платформой, на которой базируется метрология является следующая закономерность: в статистических комплексах существует внутренняя связь между частью и целым, единичным и общим, что обнаруживается в сфере массовых явлений.

Из всего вышеизложенного следует, что метрология призвана вооружать исследователей методами статистического анализа, воспитывать у них статистическое мышление, раскрывая перед ними диалектику связи между частью и целым, причиной и следствием, случайным и необходимым в явлениях живой природы. Современная экология широко использует методы метрологии при биологическом анализе различных популяций.



**Экологометрика.** Это часть экологической науки занимающейся разработкой и применением эколого-статистических методов анализа экологических процессов, обработки статистической экологической информации.

Математическое моделирование в экологии как относительно самостоятельная, научная дисциплина сложилась во второй половине XIX в. Однако ее истоки восходят к более раннему периоду в истории естествознания: к тому времени, когда измерения биологических объектов стали рассматривать как *метод научного познания*. Пришедшее на смену феодализму буржуазное общество нуждалось в развитии точных знаний о природе; актуальным для этого времени стал афоризм Г. Галилея (1564-1642): «Измеряй все измеримое и сделай неизмеримое измеримым».

В 1718г. в Лондоне вышла в свет книга французского математика А. де Муавра (1667-1754) «Учение о случаях». Измерив, рост у 1375 взрослых женщин и расположив результаты измерений в ряд, он обнаружил закономерность, соответствующую известному в теории вероятностей *закону нормального распределения*. Возникла необходимость интеграции методов биологии с методами теории вероятностей и математической статистики.

*Теория вероятностей и математическая статистика* возникли в середине XVIIв. независимо друг от друга. Стимулом к обоснованию теории вероятностей послужило развитие денежных отношений в обществе.

Известную роль при этом сыграли азартные игры - метание монет, игральных костей, картежные игры, - которые оказались простыми моделями, позволившими заметить закономерность в поведении случайных событий массового характера. У истоков теории вероятностей стояли французские ученые П. Ферма (1601-1665) и Б. Паскаль (1623-1662), а также голландский математик и естествоиспытатель Х. Гюйгенс (1629-1696).

*Экологометрия изучает явления на стыке двух наук - экологии и математики* (табл.2.1). Она превращает экологию из описательной в точную науку, основанную на измерениях, на применении количественных оценок при решении экологических задач.

Таблица 2.1


## Историческая справка

Период (век)	Ученые	Разработка
XV-XVI	<i>П. Ферма</i> <i>Б. Паскаль</i>	заметили некоторые закономерности в процессе азартных игр
	<i>Х.Гюйгенс</i>	опубликовал первый трактат по теории вероятностей
XVII - XVIII	<i>А. Кетли</i>	на большом статистическом материале было показано, что различные физические особенности человека и даже его поведение подчиняются закону распределения вероятностей, математически обоснованному Гауссом и Лапласом
	<i>ф. Гальтон</i>	впервые применил метод А. Кетли к решению проблемы наследственности и изменчивости организмов
XIX	<i>В. Госсета</i> (Стьюдент)	Открыл закон распределения выборочных средних в зависимости от объема выборки
	<i>Р. Фишер</i>	разработал метод комплексной оценки действия факторов и их возможных комбинаций на результативный признак-метод, основанный на разложении дисперсии, - дисперсионный анализ и доказал, что <i>планирование исследований и обработка их результатов - две неразрывно связанные задачи статистического анализа.</i>
XX	<i>Д.Х. Медоуза,</i> <i>Д.Л. Медоуза, Й.</i> <i>Рандерса</i>	Учебник «За пределами роста», вышедшая на русском языке в 1991г. В ней на богатом статистическом материале построены математические модели, охватывающие многие стороны экологии планеты

Весомый вклад в становление теории вероятностей внесли Я. Бернулли (1654-1705) и А. де Муавр. Однако наиболее существенное развитие получила эта теория в трудах таких выдающихся математиков, как П. Лаплас (1749-1827), К. Гаусс (1777-1855), С. Пуассон (1781-1840).

Развитие математической статистики связано с проблемами государственного управления. К середине XVII столетия в экономически развитых странах Европы накопилось такое количество сведений о демографии, страховом деле, а также в области торговли, здравоохранения и других отраслях хозяйства, что разбираться в них при помощи способов описательной статистики стало почти невозможным. Назрела острая необходимость поиска новых методов анализа





## Методов анализа

статистических данных, их теоретического обоснования. Задача сводилась к тому, чтобы по части судить о состоянии целого, т. е. по выборке делать заключение о всей совокупности общественных явлений в целом, полное описание которых становилось делом очень трудоемким и дорогим. Разработка теории выборочного метода сближала математическую статистику с выводами теории вероятностей, что явилось важной вехой на пути возникновению экологометрики.

А. Кетле заложил основы экологометрики. Создание же математического аппарата этой науки принадлежит английской школе биометриков XIX в, во главе которой стояли Ф. Гальтон (1822-1911) и К. Пирсон (1857-1936). Эта школа возникла под влиянием гениальных трудов Ч. Дарвина (1809-1882), совершившего переворот в биологической науке. Опровергнув господствующее тогда представление о неизменности биологических видов, Дарвин противопоставил ему эволюционное учение, положив в основу принцип естественного отбора. Этот принцип базируется на статистическом характере причинно-следственных отношений, складывающихся в живой природе; он подтверждает гегелевскую концепцию о внутренней связи между случайностью и необходимостью, между причиной и следствием, частью и целым.



Революция, совершенная Дарвином в биологической науке, поставила перед учеными целый ряд больших и неотложных задач, среди которых на первом плане оказалась проблема изменчивости и наследственности организмов. Решение этой проблемы явилось мощным стимулом к развитию экспериментальных методов и, как следствие, к развитию экологометрики.

Одним из тех, кто испытал на себе влияние гениального труда Дарвина «Происхождение видов» (1859), был его двоюродный брат Ф. Гальтон. Сильное впечатление произвели на Гальтона и труды Кетле, особенно его «Социальная физика» и «Антропология». Поэтому неудивительно, что именно Гальтону принадлежит первая попытка применить статистические методы к решению проблемы наследственности и изменчивости организмов. Начиная с 1865 г. Гальтон опубликовал ряд оригинальных работ по антропологии и генетике. На большом фактическом материале он подтвердил вывод Кетле о том, что не только физические, но и умственные способности человека распределяются по закону вероятностей, описываемому формулой Гаусса - Лапласа.

Достоинным продолжателем исследований Гальтона явился его ученик К. Пирсон - профессор Лондонского университета. Получив в 1884 г. кафедру прикладной математики и механики, Пирсон занялся изучением проблемы наследственности и изменчивости организмов. Он создал математический аппарат экологометрики; развил учение о разных типах кривых распределения, разработал метод моментов (1894) и критерий согласия «хи-квадрат» (1900). Пирсон ввел в экологометрику такие показатели, как *среднее квадратическое отклонение* (1894) и *коэффициент вариации* (1896). Ему принадлежит усовершенствование методов корреляции и регрессии Гальтона (1896, 1898). Вместе с Д. Гальтоном и Уэльдоном Пирсон организовал выпуск журнала «Биометрика» (1901), редактором которого он оставался до конца своей жизни. Этот журнал сыграл важную роль в пропаганде биометрических методов, в создании английской школы биометриков

Разработанные Гальтоном и Пирсоном биометрические методы вошли в золотой фонд математической статистики.

Положение стало меняться после того, как была обоснована *теория малой выборки*. Пионером в этой области явился ученик Пирсона В. Госсет (1876-1937), опубликовавший в журнале «Биометрика» свой труд под псевдонимом «Стьюдент». Дальнейшее развитие теория малой выборки получила в трудах Пирсона и особенно Р. Фишера (1890-1962), внесшего огромный вклад в экологометрику, обогатив ее новыми методами статистического анализа. Удачно соединяя в своем лице биолога-экспериментатора и математика-статистика, Фишер привнес в экологометрику не только новые методы, но и новые идеи.

Он заложил основы *планирования экспериментов* - теории, которая в настоящее время получила дальнейшее развитие и стала относительно самостоятельным разделом экологометрики. Фишер ввел в экологометрику целый ряд новых терминов и понятий и убедительно показал, что планирование экспериментов и обработка их результатов - это две неразрывно связанные задачи статистического анализа. Классические труды Фишера явились новой вехой в истории экологометрики. Они доказали, что экологометрика - не просто наставление к использованию различных технических приемов, применяемых при обработке результатов наблюдений, а нечто большее - наука, занимающаяся статистическим анализом массовых явлений в биологии.

Итак, экологометрия в своем историческом развитии прошла долгий и сложный путь - от чисто словесного описания биологических объектов к их измерениям, от статистических сводок и таблиц к статистическому анализу массовых явлений. В истории экологометрии можно отметить несколько периодов, или этапов:

*Первый период*, описательный, берет свое начало в XVII столетии. В это время происходит переход от словесного описания и элементарного количественного учета биологических объектов к их числовым характеристикам. Измерения рассматриваются как метод научного познания живой природы.

*Второй период*, начавшийся в первой половине XIX в., ознаменован работами А. Кетле. В это время закладываются основы экологометрии как науки, целью которой является не описание явлений, а их анализ, направленный на открытие статистических закономерностей, которые действуют в сфере массовых явлений. Экологометрию рассматривают одновременно и как науку, и как метод научного познания.

*Третий период*, формалистический, характеризуется возникновением и развитием английской экологометрической школы во главе с Ф. Гальтоном и К. Пирсоном. В это время создают математический аппарат экологометрии и предпринимают попытки применить его к изучению проблемы наследственности и изменчивости организмов.

*Четвертый период*, рационалистический, начинается с 1902 г. классическими исследованиями Йогансена, показавшего, что в области биологических исследований первое место должно принадлежать биологическому эксперименту, а не математике. Математические методы должны применяться как вспомогательный аппарат при обработке экспериментальных данных.



*Пятый период* в развитии экологометрики открывают классические работы Стьюдента и Р. Фишера. В это время создаются основы теории малой выборки, теории планирования экспериментов, вводятся в содержание экологометрики новые термины и понятия. Все эти новшества связаны с революцией в биологии, с ломкой устаревших принципов и понятий в области исследовательской работы, с усилением процесса математизации биологии. Происходит все более заметная специализация экологометрики, применения ее методов в самых различных областях биологии, медицины, антропологии и других смежных науках.



**Признаки и их классификация.** Наблюдения над экологическими объектами проводятся по тем или иным признакам, т.е. таким характерным особенностям в строении и функциях, по которым можно отличить один объект от другого.

*Признак* – это свойство, проявлением которого одна категория отличается от другой. Колебания величины признака в пределах изучаемой совокупности, называют *вариациями* (от латинского «изменение»). Отдельные числовые значения варьирующего признака называют *вариантой* (от латинского «различный»).

Любая живая система характеризуется множеством признаков, которые отличаются друг от друга не только своим внешним проявлением, но и качественной обусловленностью. Все биологические признаки варьируют, но не все они поддаются непосредственному измерению. Отсюда возникает деление признаков на качественные и количественные.

### *Классификация признаков:*

1. *Качественные* – это простые, строго детерминированные признаки; они не поддаются непосредственному измерению и учитываются по наличию их свойств у отдельных членов изучаемой группы. К ним относят пол, окраска и др. Качественные признаки часто имеют только два состояния, взаимоисключающие друг друга.

2. *Количественные* – это признаки, поддающиеся непосредственному измерению или счету.

В зависимости от типа учета их делят на:

а) мерные - их величина может принимать в определенных пределах (от – до) любые числовые значения (например, продуктивность). Такие количественные признаки при условии достаточно точных измерений имеют непрерывное распределение;

б) счетные - их числовые значения выражаются только целыми числами. Эти количественные признаки имеют только дискретные классы, например, количество чешуи на определенной площади тела у рыб или рептилий, количество лепестков у цветка и количество щетинок у мыши или *Drosophila*. Такие прерывистые признаки, иногда называют численными. Предполагается, что они подвержены влиянию факторов среды.

Экологические признаки можно классифицировать по-разному в зависимости от того, что принимается за основу классификаций. Если основу классификации составляет тот или иной способ группировки экологических данных, то их признаки делят на *альтернативные, порядковые, ранговые* и др.

Признаки, как правило, варьируются при измерениях от объекта к объекту, из-за изменения факторов, действующих на объект. Колебания величины одного и того же признака, наблюдаемые в общей массе его числовых значений называются *вариациями*, а отдельные числовые значения варьирующего признака принято называть *вариантами*.

**Статистическая совокупность.** Группа определенных объектов составляет *совокупность*. Множество относительно однородных, но индивидуально различных единиц, объединенных для группового изучения, называют *статистической совокупностью*.

Наблюдения, проводимые над экологическими объектами, могут охватывать всю совокупность или группу объектов. В первом случае наблюдение будет называться *сплошным*, а во втором - *выборочным*.



Статистическая совокупность базируется на принципе качественной однородности ее состава. Различают генеральную и выборочную совокупность. Большая группа особей, которым интересуется исследователь, называется *генеральной* совокупностью (например, это число особей, составляющих популяцию). Для изучения генеральной совокупности составляют выборочную совокупность. Выборка – это отобранная для исследования группа особей. Выборка однородна и, обычно, всегда меньше генеральной совокупности. Выборочная совокупность должна быть репрезентативной, т.е. она должна правильно характеризовать генеральную совокупность. Репрезентативность достигается принципом случайного отбора членов генеральной совокупности в выборку.

Статистическая совокупность может состоять не только из аморфной массы однородных объектов, но и из разных по составу, но внутренне однородных групп, объединённых в отношении принятых в опыте условий для совместной статистической обработки. В таких случаях совокупность исходных данных называется *статистическим комплексом*.

*Литература:*

Основная – 1 [6-88]; 2 [т.1-11-78]; 3 [14-17].

Дополнительная – 3 [9-24]; 5 [8-16].

*Контрольные вопросы:*

1. Наука метрология, особенности науки, предмет и объект изучения.
2. Экологометрика: историческая справка.
3. Признаки: классификация и особенности.
4. Дайте определение статистической совокупности
5. Состав статистического комплекса.





