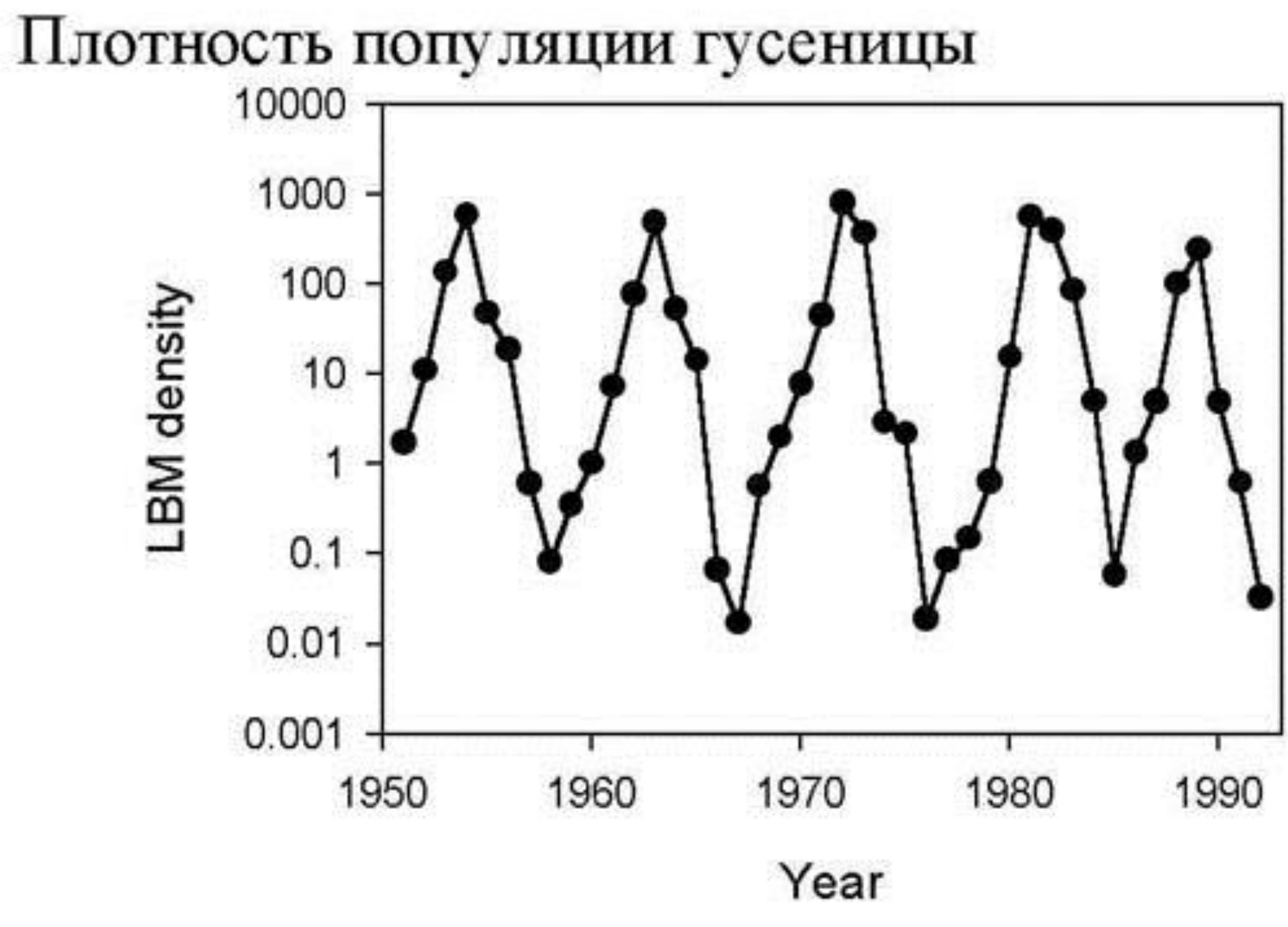
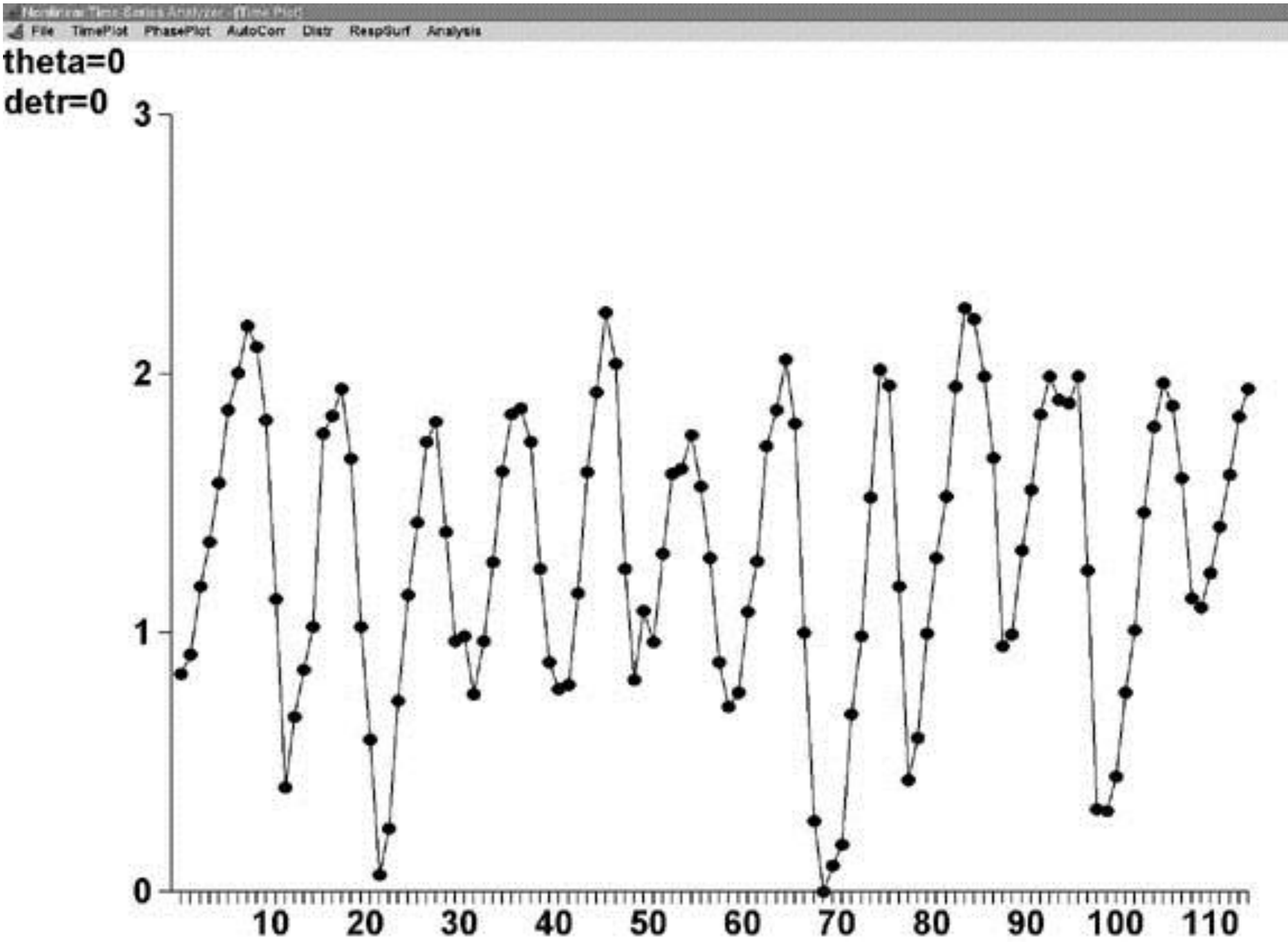
Лекция №14. Популяционная динамика

Лекцию читает Петр Валентинович Турчин – один из сильнейших специалистов в мире по популяционной динамике, преподаватель Коннектикутского университета. Данная лекция состоит из 3 лекций курса общей экологии, преподаваемого Турчиным, относящихся к теме популяционной динамики. Цель данной лекции дать представление о совершенно потрясающей области биологии, как популяционная динамика.

Рассмотрим первый график. Он показывает зависимость популяции конкретных животных от времени.



В данной ситуации речь идет о гусеницах, которая поедает лиственницы в горах Швейцарии. По оси OX отложено время, по оси OY отложен десятичный логарифм популяционной плотности. Как она измерялась? В данном случае энтомологи шли в лиственные леса в Альпах, там они срезали определенное количество веток, например 100 кг, трясли их и считали, сколько в них будет гусениц. Это дает оценку, какая плотность популяции имеется в этой области. Это вполне замечательная популяция, потому что она видна невооруженным глазом для любого туриста, приезжающего в Альпы. Каждые 8,5 лет есть год или два, когда Альпы становятся рыжими, потому что всю хвою в это время съедают гусеницы. Но самое интересное, что эти популяционные пики через несколько лет сменяются временами, когда обычный человек, сколько бы он ни искал, не сможет найти ни одной гусеницы, то есть, как видно из графика, количество гусениц уменьшается на несколько порядков. Это не самая обычная популяционная динамика, но такие примеры встречаются и с другими животными. Также из графика видно, что здесь прослеживается интересная нелинейная динамика, цикл, в котором может быть некоторая нерегулярность, связанная с внешними факторами (погода, изменения климата) или внутренними (хаос).На следующем графике представлена зависимость количества шкур рыси, поставляемых в Англию Гудзоновской компанией от времени (с конца IX века и до 1900 года.). Это знаменитый пример типичной популяции, который был разработан английским ученым Чарльзом Элтоном в в 20-30х годах двадцатого столетия. На этом графике период почти точно равен 10 годам, а разница между верхними и нижними пиками 2-3 порядка. (По оси OY опять логарифмическая шкала плотности популяции.) Мы видим, что перед нами какая-то колебательная система, хотя и не чисто периодичная. Возникает сразу вопрос, откуда берется такая удивительная периодичность в живой системе?



Каждый из нас хоть раз был в лесу и представляет, что лес – это большая «биологическая каша», в которой находятся десятки видов разных животных. Непонятно, как может такая сложная экосистема создавать такие красивые и четкие колебания? Как раз этим вопросом и занялись в прошлом столетии экологи. В данной лекции будут представлены три самые простые модели популяционной динамики.

Первой такой моделью будет экспоненциальная, которая основана на законе сохранения количества животных. Выделим какую-нибудь область и будем считать, что популяция – это все животные в той области. Существуют четыре процесса, путем которых количество животных в этой популяции может меняться: рождение, смерть, иммиграция и эмиграция. Сейчас это каждому очевидно. Но до начала IX века этот закон сохранения не был общепринятым в биологии, потому что в тот момент процветала теория о самозарождении жизни. Только потом многие ученые, в частности Луи Пастер отвергли теорию самозарождения.

Математически закон сохранения можно записать следующим образом:

$$N(t+\Delta t) = N(t) + B - D + I - E$$

где

- *B – Births* (рождение)
- *D – Deaths* (смерть)
- *I – Immigration* (иммиграция)
- *E – Emigration* (эмиграция).
- *N(t)* – число особей в популяции во время *t*.
- *N(t+Δt)* – число особей в популяции во время *t*+Δ*t*.

Здесь Δ*t* – маленький промежуток времени, который должен соответствовать биологии исследуемых животных, поэтому, например, для бактерий это может быть 1 минута, а для слонов – 10 лет. То есть нужно соизмерять шаг со скоростью размножения, смерти и др.

Теперь возьмем такую большую область, что эмиграция и иммиграция составляют такой маленький процент во влиянии на численность популяции, что о нем можно забыть (то есть эмиграция и иммиграция равны нулю). Тогда закон запишется так:

$$N(t+\Delta t) = N(t) + B - D$$

Понятно, что *D* и *B* не могут быть константами, так как чем больше животных, тем больше родится новых и тем больше вероятность, что кто-то из них умрет. Они отражают не сам процесс, а результат процесса, а сам процесс отражает смертность и рождаемость, то есть мы переходим к понятию удельных скоростей рождаемости и смертности соответственно:

$$b(t) = \frac{1}{\Delta t}\frac{B(t)}{N(t)}$$

$$d(t) = \frac{1}{\Delta t}\frac{D(t)}{N(t)}$$

Тогда рождаемость можно записать так:

$$B(t) = bN(t)\Delta t$$

Аналогично находится и смертность. Далее записываем закон сохранения, подставляем удельные скорости:

$$N\left(t+\Delta t\right) = N\left(t\right) + B\left(t\right) - D\left(t\right)$$

$$N\left(t+\Delta t\right) = N\left(t\right) + bN\left(t\right)\Delta t - dN\left(t\right)\Delta t$$

Преобразуем наше выражение в следующий вид:

$$\frac{N\left(t+\Delta t\right) - N\left(t\right)}{\Delta t} = \left(b-d\right)N\left(t\right)$$

Далее видим, что в левой части стоит производная *N* при *Δt*, устремленной к нулю:

$$\frac{N\left(t+\Delta t\right) - N\left(t\right)}{\Delta t} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} \frac{dN}{dt}$$

Значит, имеем формулу:

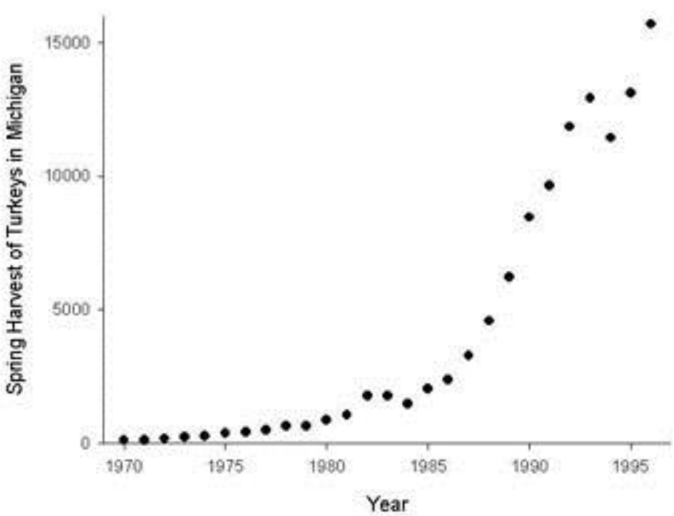
$$\frac{dN}{dt} = \left(b-d\right)N\left(t\right)$$

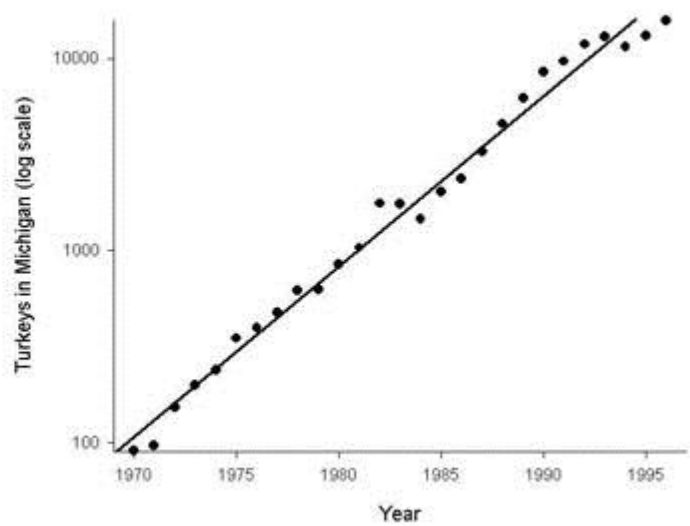
или

$$\frac{dN}{dt} = rN(t)$$

Таким образом, мы получили основную формулу для модели экспоненциального роста популяции. Интересно, что эта модель аналогична первому закону Ньютона. Если вместо *N* подставить ln*N*, то мы получим линейную зависимость.

На следующих графиках представлена зависимость плотности популяции индеек (англ. *turkeys* на графике) в штате Мичиган от времени, по оси OY отложены *N* в левом и ln*N* во правом графиках. К концу IX века всех индеек истребили, но скоро они опять появились, сначала это было небольшое количество особей, но затем популяция стала расти экспоненциально, что можно заметить на графиках.





Обычно, так ведет себя сравнительно небольшая популяция, расселившаяся на обширном пространстве. Но на самом деле в природе ни одна популяция по крайней мере долгое время экспоненциально не растет, то есть эта модель слишком упрощенная. Поэтому мы попробуем добавлять в наше уравнение некоторые ограничения, которые будут приближать нашу модель к реальной.

Заметим, что *r* не может быть константой, это функция от числа особей в популяции, ведь, как мы помним, *r* = *b* – *d*, а *b* и *d* зависит от числа особей, конкуренции внутри популяции, хищников и др. факторов, ведь чем больше особей в популяции, тем больше животные конкурируют за еду, пространство и т.д., и тем труднее становится им выживать. Чем больше *N*, тем меньше *r*, поэтому имеет место формула:

$$\begin{cases} r = r_0\left(1 - \dfrac{N}{K}\right) \\ \dfrac{dN}{dt} = rN \end{cases} \Rightarrow \frac{dN}{dt} = r_0\left(1 - \frac{N}{K}\right)N$$

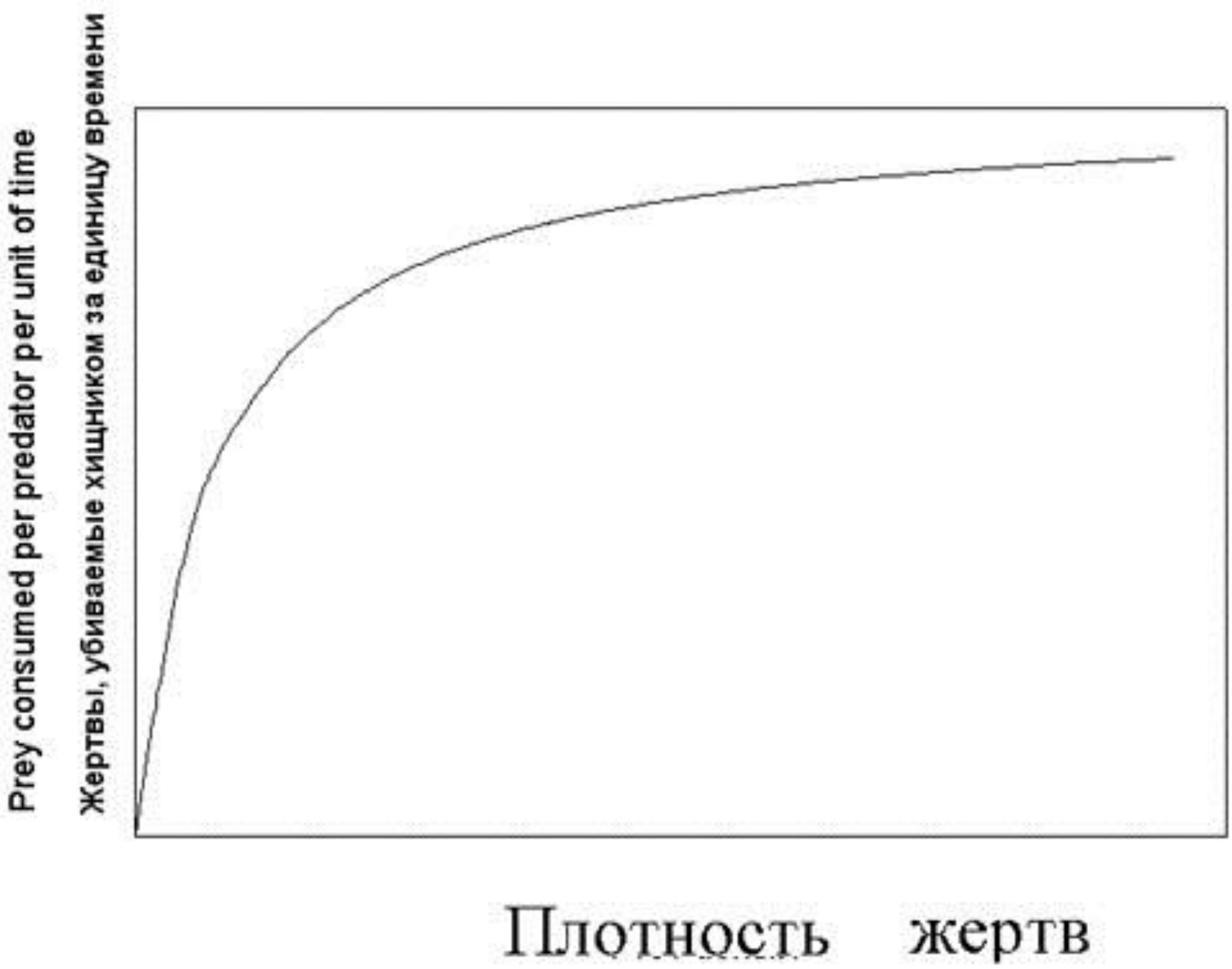
Здесь мы сделали самое простое предположение, что *r* зависит линейно от *N*. Величины r_0 и *K* – начальные параметры, некоторые константы, причем *K* – емкость среды, то есть некоторое стабилизирующее значение числа особей, при котором устанавливается равновесие, то есть популяция перестает расти. Если же *N* больше *K*, то популяция наоборот начинает убывать. r_0 - это удельная скорость популяционного роста при малых *N*. Подставляя это значение *r* в модель экспоненциального роста, мы получаем логистическую модель, которая выражает второй закон популяционной динамики, говорящий о том, что всегда существует предел экспоненциального роста, накладываемый средой.

Третья модель – это модель Лотки-Вольтерра. Но сначала поговорим о такой важной концепции, которая называется функциональной зависимостью. Это зависимость между скоростью, с которой хищник убивает жертв, и плотностью количества жертв.

Для наглядности проведем параллель с химической кинетикой. Представим, что у нас есть пробирка с находящимся внутри раствором какого-то реагента *A*. Бросим внутрь одну молекулу вещества *B*. Частицы будут участвовать в броуновском движении и, рано или поздно, молекула *B* встретится с молекулой *A*. Вероятность этого события за единицу времени, очевидно, пропорциональна концентрации [*A*] вещества *A*. Это и есть пример функциональной зависимости. Экологи провели массу экспериментов, в которых вещество *A* «представляли» жертвы, а вещество *B* – хищники (к примеру, запускала в аквариум головастиков и одного тритона и смотрели, с какой скоростью тритон будет их поедать, в зависимости от количества головастиков). Итак, функциональная зависимость – скорость, с которой один хищник убивает жертву. Если вещества *B* (хищников) у нас много, то скорость химической реакции пропорциональна произведению концентраций веществ *A* и *B*. Все уравнения для популяционных процессов были выведены по аналогии с химическими реакции, поэтому скорость поедания жертв хищниками пропорциональна популяционной плотности жертв и хищников.

В экологии мы говорим о ресурсах и потребителях, поскольку не только хищники и жертвы, но и патогенны и их хозяева, паразиты и их хозяева, травоядные и их пища – это все примеры взаимодействия типа «хищник-жертва». В описывающей эту функциональную зависимость формуле $f(R) = aR$ буквой R обозначены ресурсы. Эта зависимость – линейная. Это самый простой вид функциональной зависимости первого типа. Проблема заключается в том, что даже в химических реакциях это очень неточное приближение. В популяционной динамике это *очень плохое* приближение, потому что, когда мы начинаем увеличивать количество жертв, достаточно быстро наступает момент, когда хищник может убить жертву, но не может ее съесть. Есть некоторый потолок, выше которого хищник не будет убивать жертв, потому что ему это не будет нужно. Функциональная зависимость этот факт учитывающая, называется функциональной зависимостью второго типа. Она описывается такой формулой:

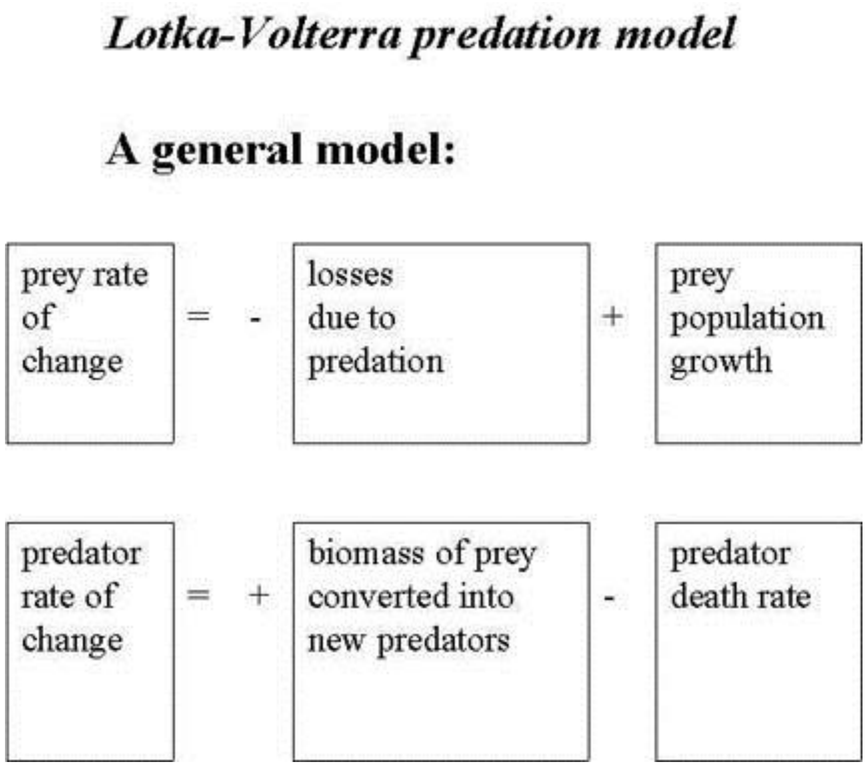
$$f(R) = \frac{cR}{d + R}$$



В формуле *c* – это как раз тот самый потолок, к которому асимптотически приближается наша гипербола; *d* показывает, с какой скоростью она к нему приближается (количество жертв, которых убивает хищник со скоростью, равной *c*/2).

Рассматривая функциональные зависимости, мы постепенно приближались к модели Лотки-Вольтерра.

Эту модель мы будем выводить, используя так называемый «коробочный» подход (он проиллюстрирован на рисунке).



В этой системе слева записаны плотности ресурсов и потребителей. Справа вторая «коробка» у жертв отвечает за популяционный рост, у хищников – за уровень смерти, а первая – за взаимодействие ресурсов и потребителей. В эту общую модель мы можем подставлять разные функциональные зависимости. Хищники жертв поедают, поэтому перед первой коробкой в первом уравнении стоит знак минус, а во втором – плюс, т.к. при поедании жертв улучшается возможность увеличения количества хищников. Начнем с простого, перейдя потом к сложному. Подставив в эту модель самую простую функциональную зависимость (экспоненциальную), получим следующую систему уравнений:

$$\frac{dR}{dt} = rR - aRP$$

$$\frac{dP}{dt} = caRP - dP$$

где

- *R* – плотность жертвы (в килограммах мяса на квадратный километр),
- *P* – плотность хищника
- *r* – удельная скорость роста популяции при малом числе хищников, т.е. удельная скорость, с которой хищники убивают жертв,
- *a* – эффективность хищника (удельная скорость, с которой хищник убивает жертв),
- *c* – эффективность превращения хищниками биомассы жертв в себя и потомство,
- *d* – удельный коэффициент смертности, с которой хищники вымирают, когда нет жертв.

Эта простейшая модель взаимодействия хищника и жертвы, или ресурсов и потребителей и она называется моделью Лотки-Вольтерра (в русском языке почему-то делают ударение на последнем слоге, ВольтеррА, наверное, потому что его первая статья вышла на французском языке, а он итальянец, и произносить надо ВольтЕрра). Лотка был американец польского происхождения. Они изобрели свои модели почти одновременно, один в 1925 году, а другой – в 1926.

Когда Чарльза Элтон открыл популяционные циклы, он первым напечатал научную статью о популяционных циклах в 1924 году. Он там опубликовал возможные причины циклов, может быть, погода меняется или солнечная активность. Например, в 19 веке пики рыси совпадали с пиками солнечной активности (пятен на солнце), была маленькая разница, и за счет этой разницы в 20 веке эти циклы разошлись, и пошли в противофазе. То есть это было чисто случайное совпадение. Но Элтону даже в голову не пришло, что циклы обусловлены взаимодействием хищников и жертв.

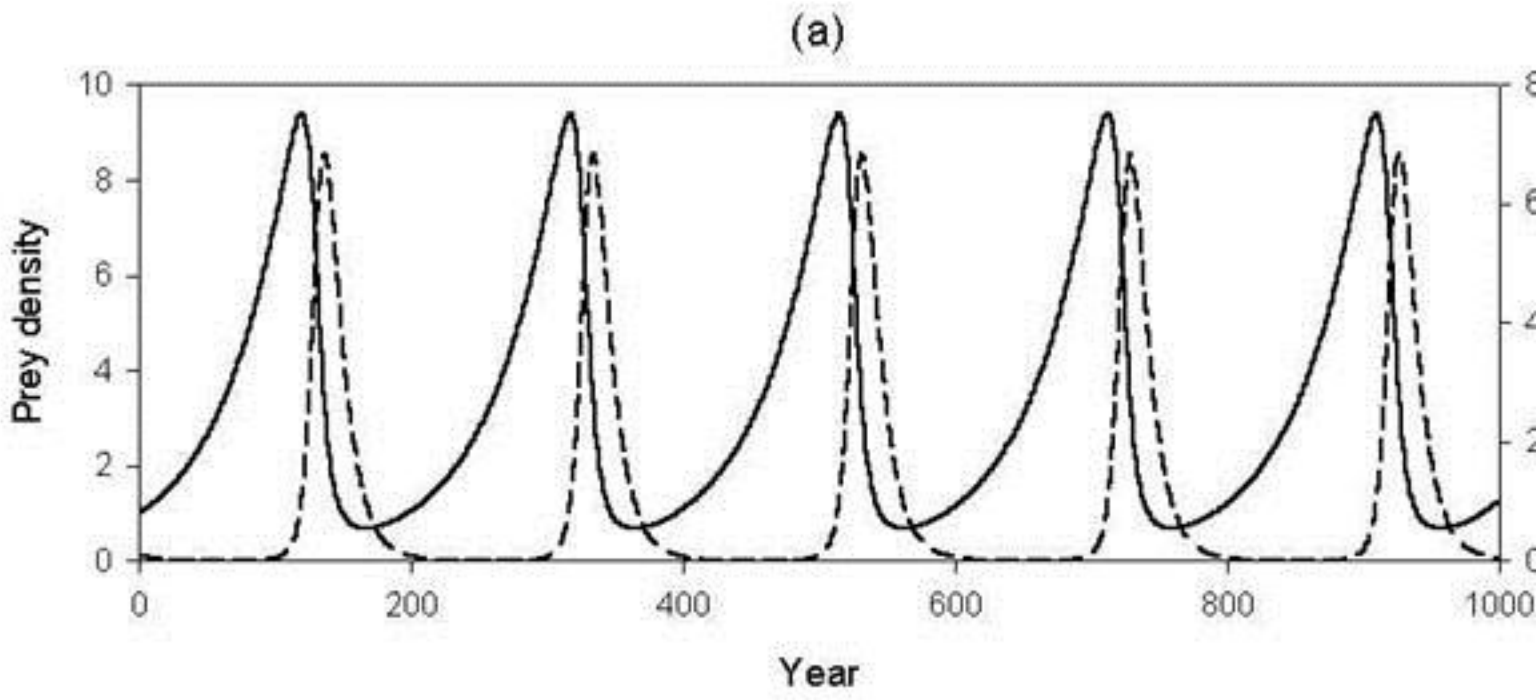
И когда вышла статья Вольтерра в 1926 году (сначала во французском журнале, а потом в Nature), его преподаватель (Элтон был молодой, ему было 25 лет) увидел статью в журнале с моделью Лотки-Вольтерра, и вбежал в кабинет Элтона, воскликнув «Вот, вот почему они <циклы> происходят!». Это показывает, как важна теория, потому что из эмпирических данных невозможно было понять, что является причиной циклов.

С тех, за последние 80 лет эта гипотеза «хищника-жертвы» как основная гипотеза причин цикличности в экологии. В одно время она была заброшена по глупым причинам. Но сейчас она является основной и была подтверждена многими исследованиями.

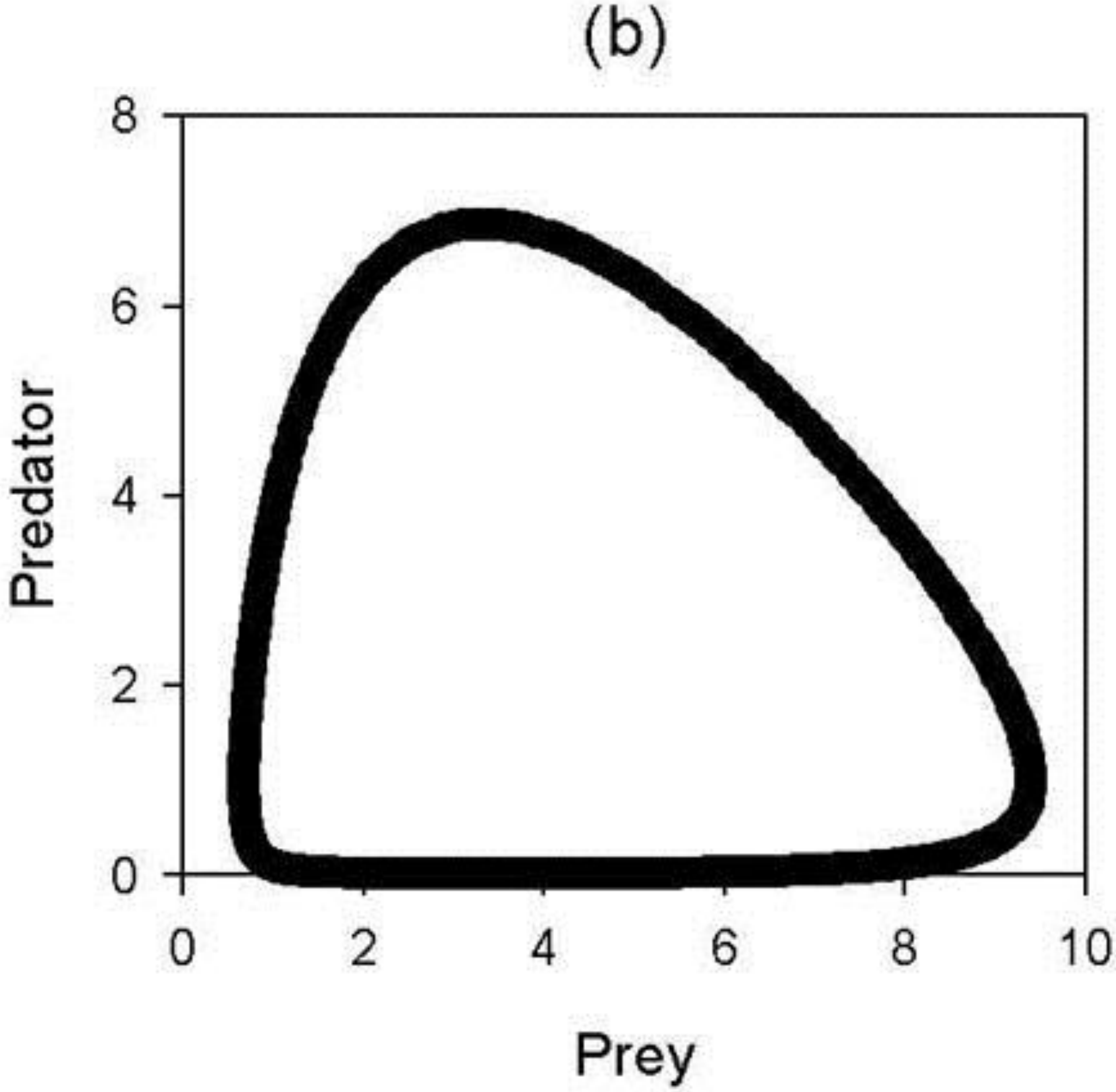
За последние 20 лет появилось масса исследований, которые доказали, что это взаимодействие по принципу даже не хищник-жертва, а по принципу ресурс-потребитель, для очень разных ситуаций, например, для болезней.

Повторим, что эта модель неприменима в жизни, так как она слишком упрощена, т.к. мы предположили, что число жертв растет экспоненциально в отсутствии хищников, что в действительности не так, что хищники умирают по экспоненте в отсутствии жертв – это, в принципе, мы можем оставить. Эффективность хищников можно оставить константой. В первом приближении эта модель действует.

Важно заметить, что эта модель дает совершенно патологическую динамику. Рассмотрим следующий график, здесь сплошная линия – жертва, пунктирная – хищник (график дает изменение во времени):



Или то же самое, но в фазовом пространстве (время мы убрали, здесь только численности хищника и численность жертвы):



Все видят, что процесс идет против часовой стрелки?

Проблема в том, что это цикл нейтральный, т.е. амплитуда колебаний задана начальными условиями, и не меняются, чего не бывает в жизни. Слишком долго объяснять, почему нейтральный цикл – это патологическое поведение. Примите это на веру. Эта модель хороша только как игрушечная модель, которая объясняет, что если все сделать самым простым образом, то получится цикл.

Нам надо подправить эту модель. Как это сделать? Самый элементарный способ - вместо экспоненциального роста ввести логистический. Если мы это сделаем, то это даст немедленный эффект, то есть модель стабилизируются, будут затухающие колебания, которые придут к точке, являющейся устойчивой. Если же мы поставим экспоненциальную модель, а сюда вместо первого поставить второй тип функциональной зависимости, то это приведет к дестабилизации, то есть амплитуда колебаний увеличивается, пока не произойдет столкновение с нулем, либо – что чаще и происходит - жертвы растут экспоненциально, а хищники (поскольку у них ограниченная скорость роста, просто не успевают убивать жертв) за ними не успевают, они тоже растут экспоненциально, но более медленно, и оба растут до бесконечности.

Мы изменили модель в два шага. Если же мы поменяем и то, и другое, то получим наиболее приближенную к реальности модель Розенцвайга-МакАртура:

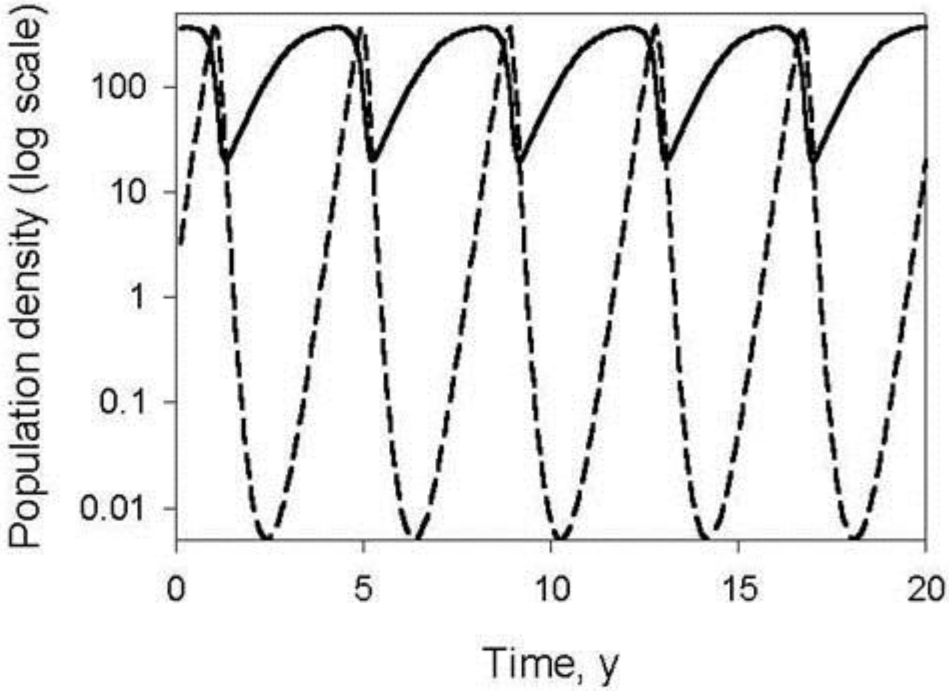
$$\frac{dR}{dt} = rR\left(1 - \frac{R}{K}\right) - \frac{cRP}{R+d}$$

$$\frac{dP}{dt} = \gamma\frac{cRP}{R+d} - dP$$

Здесь *K* – емкость среды.

Эта модель на самом деле очень простая, простейшая модель, которая может быть приложена к реальным экосистемам. Пользуясь теоремами, которые еще Колмогоров доказал, можно доказать, что колебания в фазовом виде придут либо к стабильному циклу, либо к стабильной точке. Только два поведения. Может быть еще, конечно, ситуация, когда обе популяции упадут в ноль. Но два поведения – достаточно, потому что в зависимости от параметров мы можем получить либо стабильную точку, либо стабильный цикл.

Рассмотрим конкретный пример. На графике изображены сплошной линией – жертва (лог-шкала), а пунктирной – хищник.

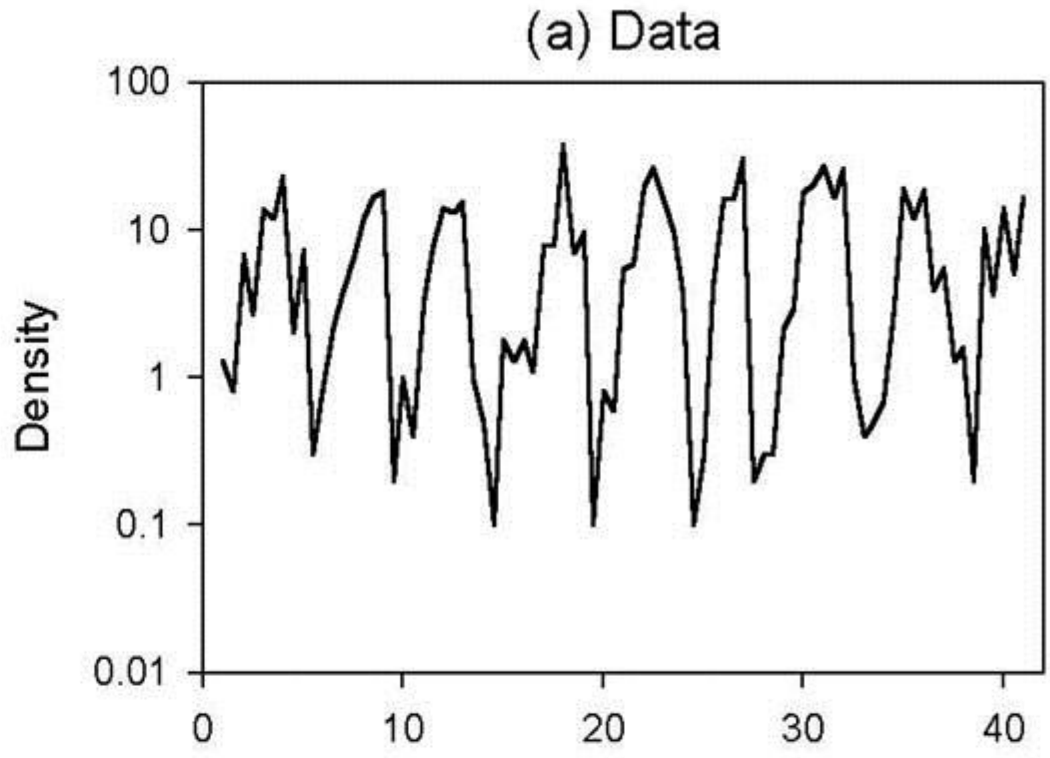


Заметим, что это стабильный цикл. Поэтому если начнем с любой точки, все вернется на круги своя, и амплитуда хищников, и амплитуда жертв будет определена.

Для этих для конкретных параметров амплитуда хищников намного больше, чем амплитуда жертвы. Видно, что у жертвы верхние пики закругленные, и это важный момент, это результат нашего логистического уравнения. Без него хищники никогда не смогли бы догнать жертв, которые росли бы экспоненциально гораздо быстрее чем хищники, и никакого цикла не получилось бы.

Из них следует, что сначала жертвы растут до своей емкости среды, а хищники растут экспоненциально, потому что прямая линия на этом графике – это экспоненциальный рост. Потом их становится так много, что они поедают всех жертв, численность жертв падает экспоненциально, жертв становится мало и у хищников численность тоже падает экспоненциально, затем когда хищников почти не остается, численность жертв растет, причем кривая загибается на пике. Поэтому хищники выглядят такой пилообразной кривой, прямой подъем сменяется прямым спадом. А жертвы – у них трехфазовый подъем, потом они сидят близко к равновесию, потом спад. Получается закругленные пики. Таким образом по топологии графиков можно определить, кто хищник, а кто жертва.

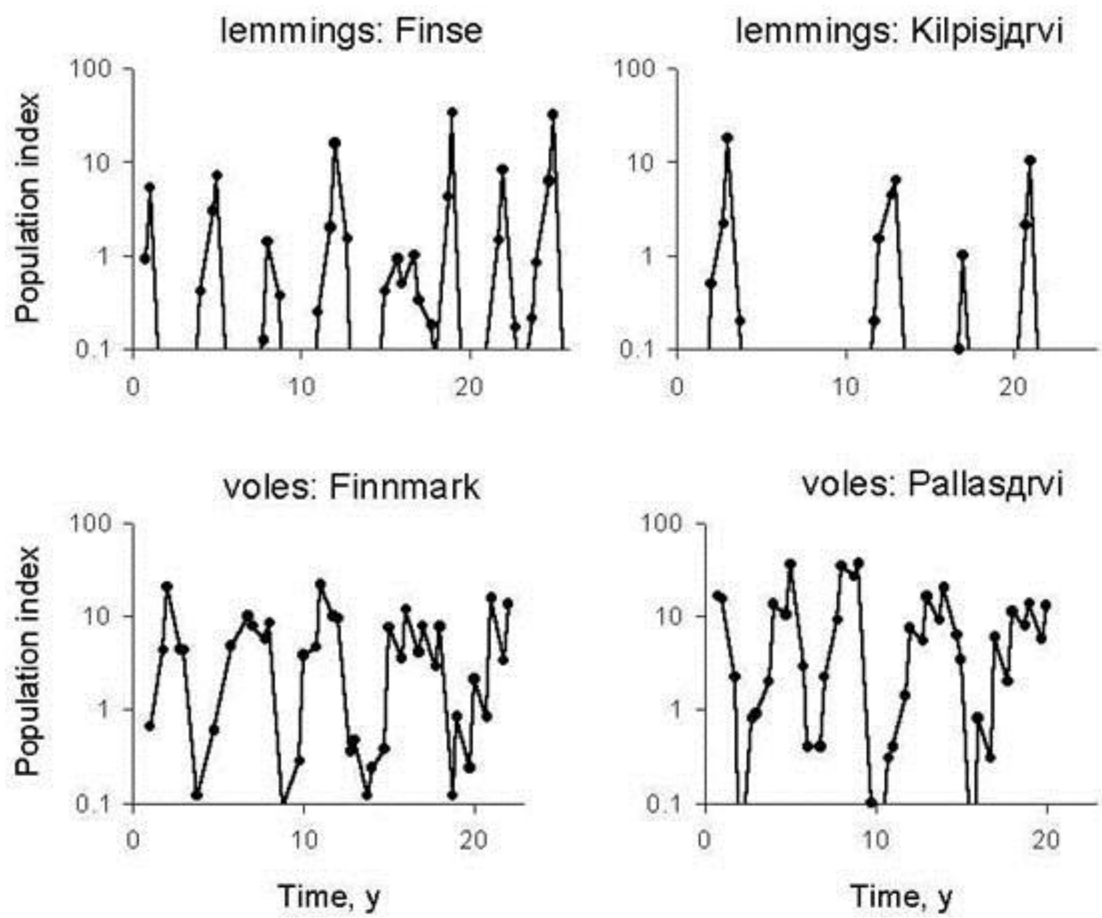
На следующем графике мы видим реальные данные - колебания популяции полевок, живущих в северной Финляндии. Полевка – это мышь, которая ест только траву. Финские экологи изучали их плотность два раза в год, в течение 40 лет. Они ставили ловушки и смотрели, сколько полевок в них попадется, рассчитывая из этого их плотность. Видно, что цикличность не очень четкая, но видно, что нижние концы все острые, а верхние – закругленные. Это больше напоминает жертв, чем хищников.



Ниже представлены колебания численности полевок (англ. *voles*), живущих в другом городе северной Финляндии. Видно, что популяция на пиках по три-четыре с половиной года сидела на емкости среды. Не все пики, но большинство пиков затупленные.

У леммингов (англ. *lemmings*), колебания плотности которых, тоже представлены ниже, практически все пики острые. Можно статистически показать, что у полевок пики тупые, а у леммингов – острые.

Из всего этого можно сделать вывод, что полевки, скорее, жертвы, а лемминги – хищники. Известно, что лемминги едят мох, и, на самом деле, они - травоядные, поэтому из остроты пиков следует, что лемминги потребители, а не ресурсы. Причины колебания у полевок и леммингов разные, хотя образ жизни у них похожий. Для полевок было доказано с помощью экспериментов, что их главный хищник – ласка. Есть подобные данные по ласкам, и показано, что колебания их численности согласуются с колебаниями численности полевок согласно модели «хищник-жертва».



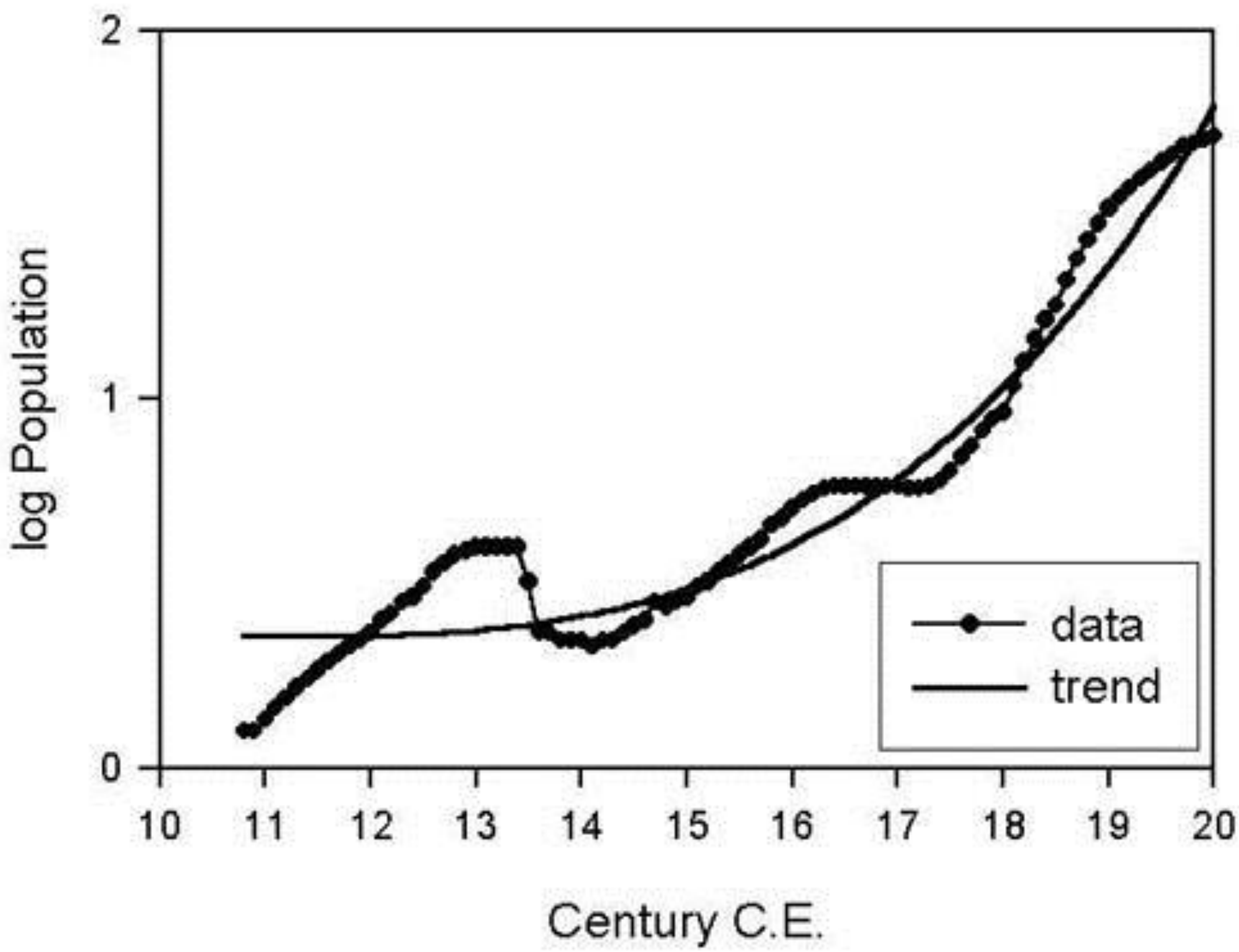
Для леммингов показано, что их цикл возникает из-за их взаимодействия со своей кормовой базой. И хотя и лемминги и полевки травоядные, между их кормовыми базами (мхом и травой соответственно) существует различие, и циклы леммингов согласуются с циклами их кормовой базы, а циклы полевок – нет. Если вы уберете ласок, то никаких циклов между травой и полевками не будет. Это описано в моей статье в Nature.

У леммингов зигзаг пилообразный: пик-обвал. У полевок на пике они немножко живут.

Зигзаг на левом нижнем графике объясняется тем, что измерение проводили два раза в год, и это осень-весна, отличающиеся количеством кормов. Это видно по зигзагам, которые совершает численность популяции при общей тенденции увеличения или уменьшения. Они объясняются следующим образом. Замеры численности полевок производились два раза в год, а поскольку количество травы весной и осенью различно, то есть, размеры кормовой базы полевок отличаются в эти периоды времени, то и численность полевок увеличивается или, соответственно, уменьшается. Также отметим, что в модели Лотки-Вольтерра нет различия между пиками жертв и хищников. В уравнении, описывающем модель Розенцвайга-МакАртура, присутствует логистический член, который и дает плоские пики у жертв.

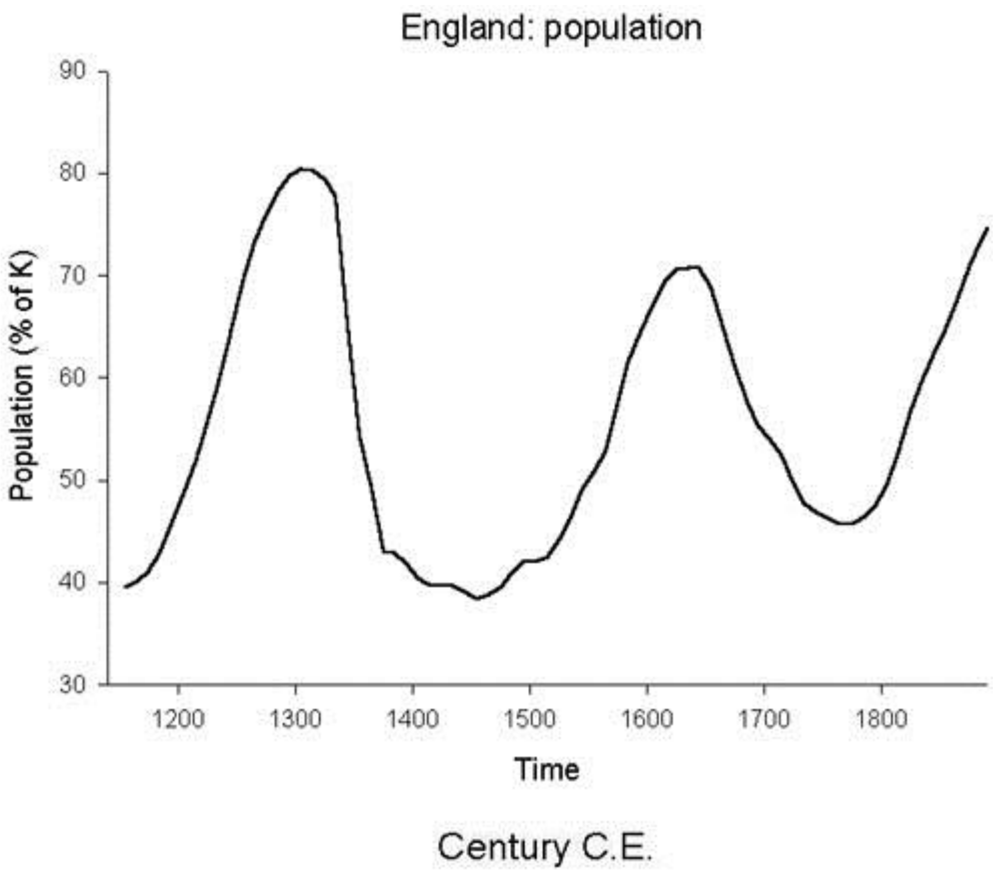
Приложимы ли эти закономерности к изменениям численности популяций людей?

Ниже представлены самые лучшие из имеющихся данных, данные о численности населения в Англии и Уэльсе, начиная с 1085 года и заканчивая 2000 годом. В 1085 году Вильгельм Завоеватель решил пересчитать население в завоеванных им Англии и Уэльса с целью обложения людей налогами, и он пересчитал практически всех англичан. И далее почти каждые 10 лет мы имеем данные о численности.

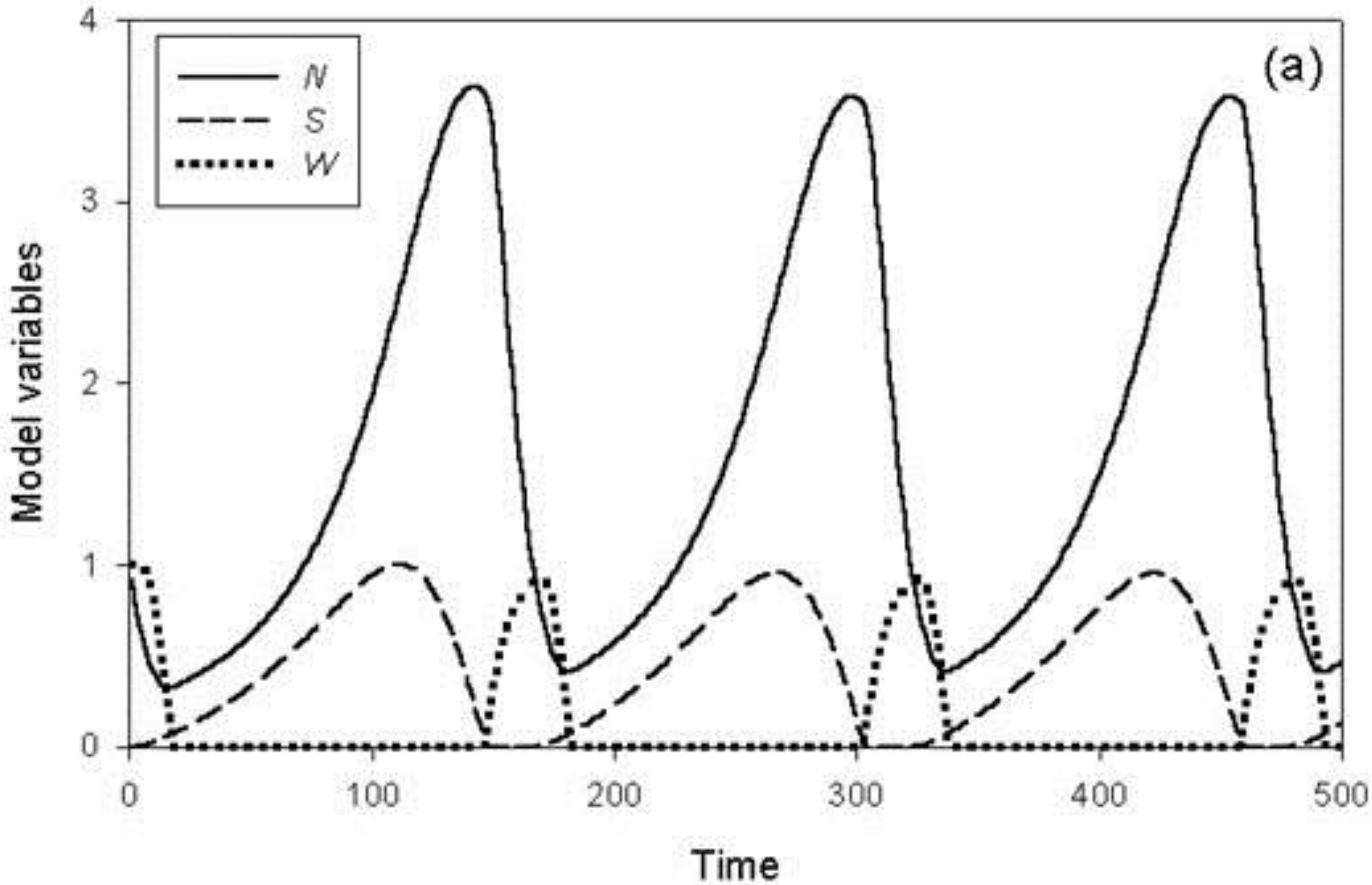


Из графика, во-первых, видна общая тенденция увеличения численности населения, здесь был пик 6 млн., здесь 6.5 млн., а здесь – 55 млн. Но не забывайте, что здесь произошла аграрная революция, и сейчас можно вырастить еды в 10-15 раз больше, чем в 13 веке. Эта тенденция нас не интересует, поэтому мы ее исключим из рассмотрения. Нас будет интересовать колебания, происходящие вокруг этой тенденции.

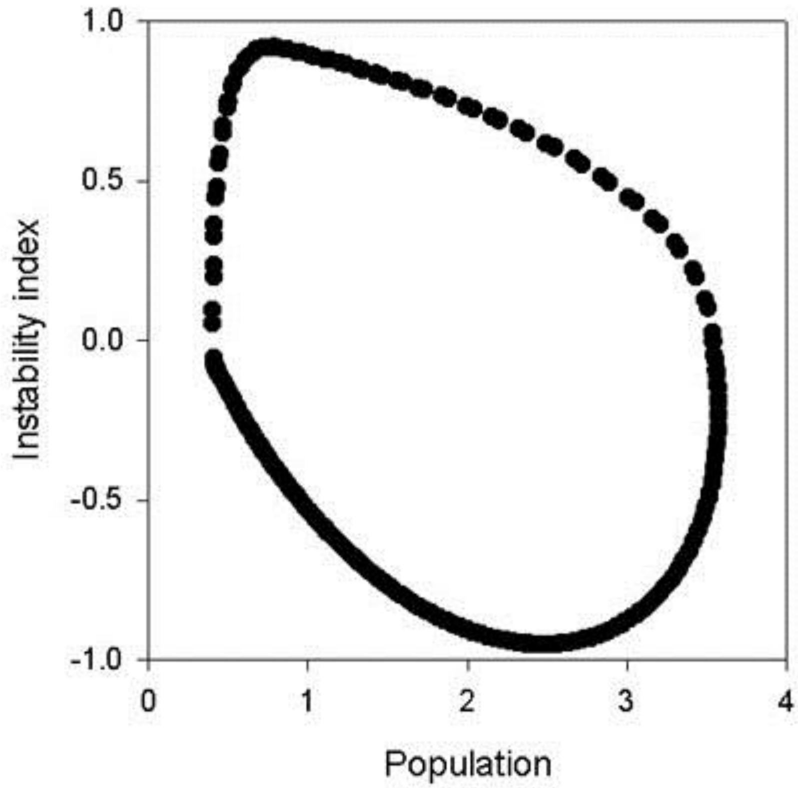
Ниже представлены те же данные, но исчисленные в процентах от емкости среды.



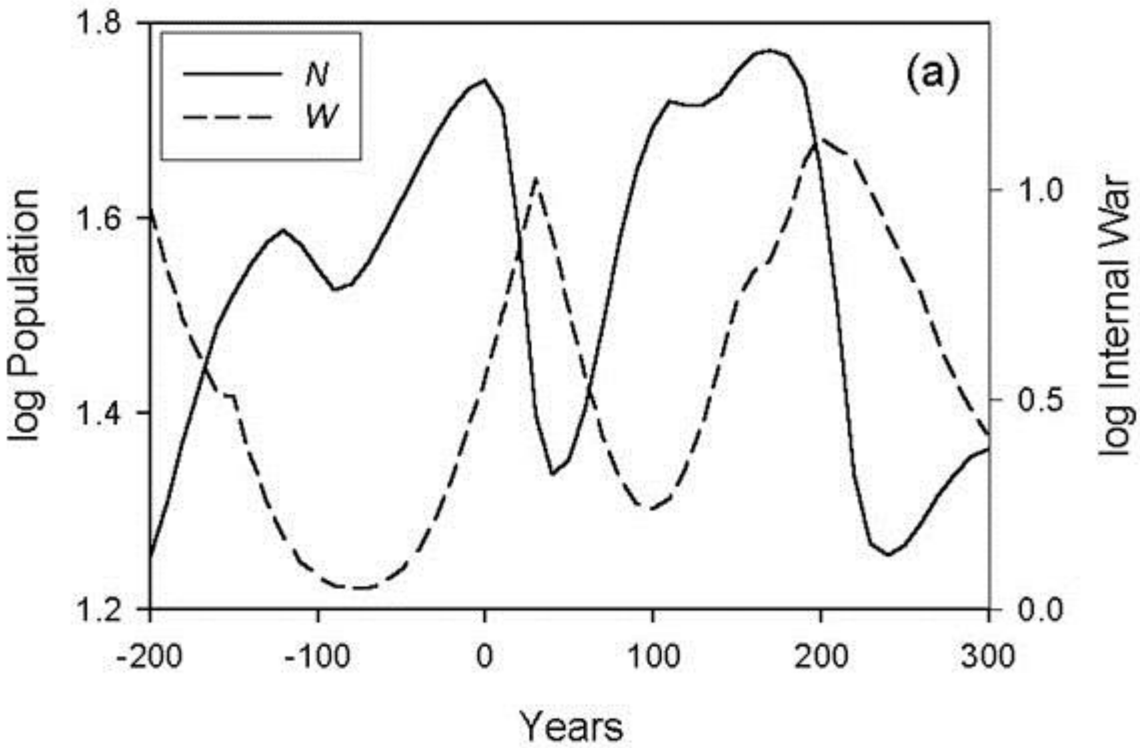
Мы смотрим среднюю урожайность по разным периодам, вычисляем, каким было максимальное количество людей, которых Англия могла прокормить, и смотрим, какой процент от максимальной емкости среды составляет население. На графике показан процент от максимального. Мы видим опять колебательный процесс, то есть люди тоже подвержены этому странному колебательному процессу. Ясно, что это не «хищник-жертва», потому что у людей просто нет хищников, которые могли бы вызвать такие колебания. Возможно, виноваты болезни, но это еще нужно исследовать. Здесь есть элемент экологии, а есть элемент социологии, вторым важным фактором выступает внутренняя гражданская война. Еще Томас Мальтус предположил что рост населения может вызвать трения в обществе и привести к развалу государства, гражданской войне, революции. и т.п. На следующей модели отражены эти идеи. *N* - численность населения, *S* – сила государства, оцененная по количеству собираемых налогов, *W* – частота внутренних конфликтов, всплески гражданская война, оцененные по смертности от внутренних стычек, убийств.



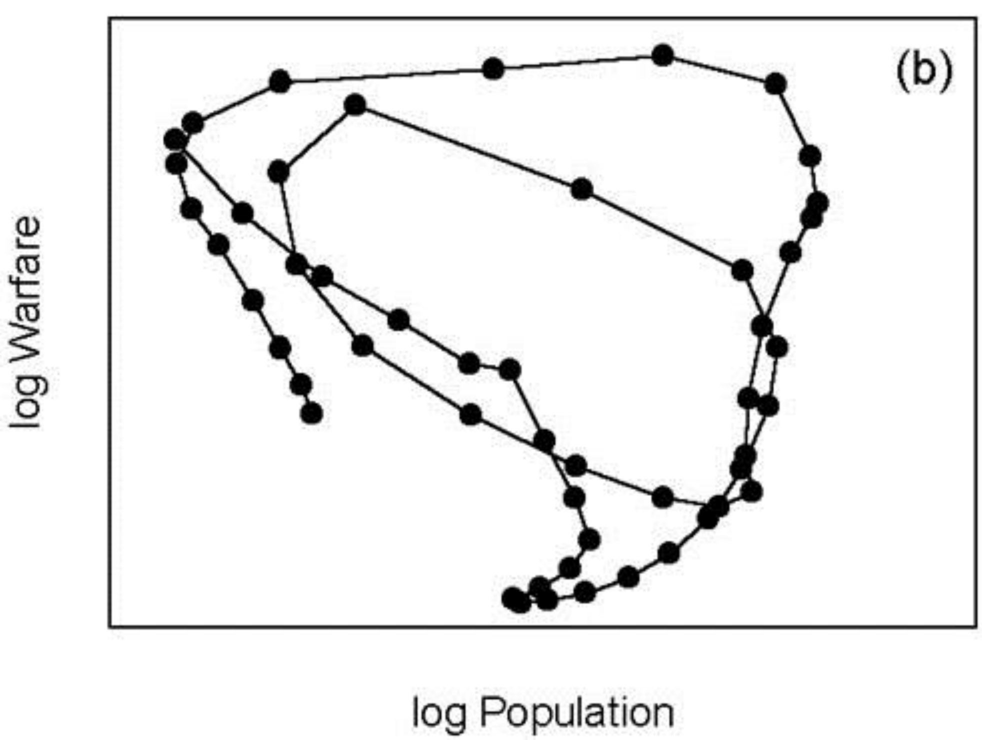
Если эти данные мы поместим на фазовое пространство, то по одной оси – индекс социально-политической нестабильности, измеряемый по гибели людей в результате внутренних военных действий (то есть не внешних нападений, а гражданская война). По другой оси – популяционная плотность.



Далее реальные данные по Китаю, начиная с 200 года до нашей эры. Китайцы 2000 лет назад собирали данные, их интересовала не популяционная динамика, а численность тех, кого надо обложить налогами. В результате у нас имеются данные по популяционным колебаниям, на графике даны в логарифмическом масштабе. *N* – это численность населения; *W* – это индекс нестабильности, оценивающий внутренние военные конфликты, восстания. Один китайский ученый посчитал, сколько было крупных восстаний в каждое десятилетие, разных бандитских выступлений и т.п. Это мы используем как индекс нестабильности.

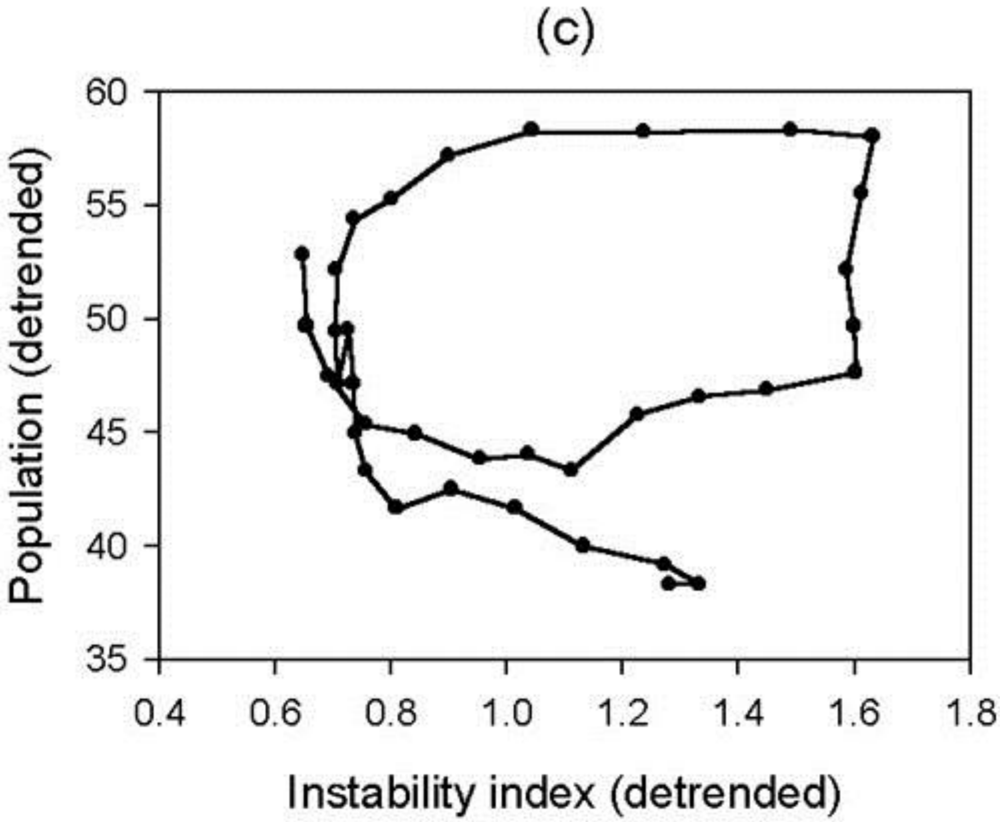


Вы видите, что колебания происходят с тем же периодом, но пик нестабильности происходит с задержкой относительно пика численности населения. Вот то же самое на фазовом пространстве, мы видим цикл. В какую сторону он крутится?



Растет население, это вызывает всплеск гражданских войн, население падает, и постепенно гражданские войны тоже убывают. Незамкнут цикл потому, что это же реальные данные. То есть у нас есть какой-то цикл, и реальные колебания будут болтаться вокруг него. Это же история, это сложная система, там много разных факторов, там меняется климат, могут быть внешние вторжения, все будет толкать траекторию в разные стороны. Для реальных данных это очень четкие колебания.

Такая же фазовая диаграмма для Англии, популяционная плотность и нестабильность.



В исследованиях, которые я проводил, я стараюсь не заходить за 1900 год. Но есть некоторые данные для России. В истории России было несколько "вековых" циклов колебаний населения, которые заканчивались междоусобицами. Первый цикл проходил в Киевское время и закончился, когда монголы напали на Русь, она уже была раздираема междоусобицами. Второй цикл нестабильности закончился в начале 15 века во времена Василия Темного, Шемяки и т.д., когда Московское княжество также было раздираемо междоусобицами. Следующий цикл нестабильности начался при Иване Грозном. Опричнина была первым признаком, дальше началось Смутное время. За Смутное время население России уменьшилось на 20-30%. Затем был очень длинный цикл, потому что Россия расширялась, экологическая ниша сильно выросла, и следующий обвал произошел, начиная с 1905 года, и далее, в соответствии с теорией, следует столетие развала, войн и революций. В России за это время население уменьшалось четыре раза: вначале Первая Мировая и гражданская война, затем репрессии и голодомор 30-х годов (когда миллионы людей умирали), Вторая Мировая

Война (30 млн. погибших), и сейчас, то что происходит в 90-е годы, - возрастание смертности и снижение рождаемости. Судя по всему, это – не косвенное влияние нестабильности, социальная нестабильность растет, смертность растет, рождаемость падает. На эту тему есть несколько статей. Смертность во многом повысилась из-за того, что многие люди, попросту, потеряли смысл жизни, пьют. Все эти механизмы рассмотрены в истории, и сейчас они проявляются. Все это очень пока зыбко, и если теория подтвердится, а пока она подтверждается, то мы сможем приложить эту теорию к современности, тогда мы сможем делать заключения.

Ответы на вопросы:

Продолжительность циклов 200-300 лет. Циклы 150-200 лет подъем, и 100 лет упадка. Периоды смутного времени обычно продолжаются около века. Так что по непроверенной теории оно должно закончиться.

Я не согласен с теорией убыстрения демографических циклов, и по нашим данным, период не менялся за последние 2-3 тысячелетия. Другое дело, что ускоряется технический прогресс. Скорость популяционного роста зависит от уровня рождаемости, мы пока детей из пробирки не производим, и скорость прироста населения более-менее стабильна, поэтому демографические циклы имеют приблизительно постоянный период, то есть шаг спирали, по которому развивается история, не уменьшается.