

ИНФОРМАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

Тема 6

Сложность и организация живых систем

Структурный аспект информации. Иерархии.

- Проблема иерархичности систем, в том числе и живых, очевидна. Тем не менее, исследована не в полной мере и потому актуальна. В этом ряду можно указать на необходимость корректного и объективного ранжирования подсистем в системе в зависимости от уровня их организации или сложности.
- Один из подходов решения проблемы базируется на оценке энтропии систем, имеющих разные формы организации или степени сложности.
- В частности, при таком подходе, количество информации, обеспечивающей или соответствующей переходу от одного уровня к другому будет определяться через разность энтропий.
- В этом проявляется и иллюстрируется структурный аспект информации.

Энтропийный подход

- $I = H(n-1) - H(n)$, где n – n -ый уровень организации;
- $H(n-1) = -$ сумма $P(n-1) \log P(n-1)$
- $H(n) = -$ сумма $P(n) \log P(n)$.
- Основание логарифма?. М.б. 2. Тогда размерность – биты.
- **Схема**
- Р. Джонсон с соавт., (1971), используя эту процедуру, подразделил все существующие системы по уровням организации. Что же получилось?

Уровни мировой структурной организации

- Уровень статических структур, который базируется на элементах вещества планет, обеспечивающих естественное возникновение структур неорганической природы (исходная материя).
- Уровень простых динамических систем с детерминированным движением (часовой механизм, динамика планет и звёзд и т.д.)
- Уровень авторегулируемых систем (уровень «термостата»). На этом уровне появляются начала, элементы механизмов управления. Существенной особенностью систем этого уровня является приём, передача и анализ информации.

Уровни мировой структурной организации

- Уровень самоорганизующихся структур, которые являются принципиально открытыми. На этом уровне живое отличается от неживого, формируются а) знаковая, сигнальная информация и б) опережающее отражение. По формальным признакам к этому уровню из живых систем можно отнести клетки.
- Уровень растений и животных организмов. Характерно появление психики и коммуникативности.

Уровни мировой структурной организации

- Уровень человека с высшей формой отражения (сознание и мышление).
Характерны: а) интенсификация информационных процессов, б) познание окружающего мира, в) целенаправленная деятельность.
- Уровень общественных институтов (организации человеческого общества, их экономические, политические формации и др. атрибуты)
- Уровень общения с внеземными цивилизациями.
- Насколько такая иерархичность адекватна?

Мера сложности живых систем

- Живые системы – сложные, многоуровневые, иерархические структуры. Можно-ли как-то объективно оценивать эту особенность?
- Относительно сложности ближе всех к ответу подошёл У. Эшби. Согласно Эшби, сложность системы можно оценить, охарактеризовать *как меру её разнообразия*.
- Под разнообразием Эшби понимал количество состояний N , в которых может пребывать данная система.
- Состояние живых систем определяется их структурой и набором взаимодействующих

Разнообразие ж. систем

- Поэтому разнообразие может быть структурным и функциональным, и между ними может не быть чётких границ.
- Условно можно принять, что структурное разнообразие базируется на множестве, количестве элементов, их особенностях и связях между ними. Н-р, структура генома, клетки, популяций.....
- Функциональное разнообразие систем характеризуется т.н. динамическим диапазоном выходных величин, сигналов системы. Н-р, на выходе нейронной сети может быть разный поток ПД что определяется а) балансом возбуждающих и тормозных синапсов в любой момент времени, б) порогами возбудимости разных нейронов в) пластичностью нервных клеток и г) предшествовавшими событиями. Всё это будет определять функциональное разнообразие.

Оценка сложности ж.с.

- Число состояний живых систем очень велико. Поэтому за количественную меру их сложности, базирующейся на числе состояний, принимают не само число этих состояний, а *логарифм* этого числа.
- Таким образом, если число состояний системы равно N , то её сложность H определяется как $H = \log(2) N$ [бит].
- По формальным признакам эта мера сложности аналогична мере Хартли (информационная ёмкость). Т.о., это отображает разные стороны содержания понятия информации.

Мера сложности

- Использованная таким образом оценка сложности даёт адекватную величину меры, но оказывается прогностически не очень состоятельной. Она не прогнозирует, не показывает, в каком из подсостояний находится система и в какое подсостояние будет переходить самопроизвольно или после воздействия.
- Чтобы прогнозировать динамику состояния системы, необходимо обладать информацией не только о величине N , но и знать о вероятностях пребывания системы в каждом их конкретных подсостояний.

Учёт вероятностей

- При наличии сведений о вероятностях состояний можно рассчитать энтропию и использовать эту величину, с определёнными оговорками, как меру сложности.
- Для случая когда сумма $P(i) = 1$, т.е. когда есть возможность реализации любого состояния из всех возможных
- $H(s) = - \sum P(i) \log_2 P(i)$.
- Полученная таким образом величина носит название структурный индекс Шеннона или индекс разнообразия Шеннона, *который успешно используется для решения биологических задач.*
- Если используется двоичный логарифм, величина имеет размерность в битах. Часто используются другие основания, но тогда теряется физическая определённость индекса.

Глобальный Экологический Фонд
Проект «Сохранение биоразнообразия»
Экоцентр МГУ им. М.В. Ломоносова

Серия учебных пособий «Сохранение биоразнообразия»

ГЕОГРАФИЯ И МОНИТОРИНГ БИОРАЗНООБРАЗИЯ



Издательство НУМЦ
Москва 2002

Индекс (мера) Шеннона

- Если, например, система чаще всего пребывает в конкретном (L-ном) состоянии, то $P(L) \rightarrow 1$. В предельном случае $P(L) = 1$. Это означает, что
- $H(s) = 0$, т.е. система обладает нулевой неопределённостью, она полностью определённа и предсказуема, а значит она детерминирована. Она не сложна для прогноза, сложность минимальна..

Индекс Шеннона

- Если система равновероятно находится в любом из возможных состояний («всё равно в каком состоянии пребывать»), то при равенстве вероятностей энтропия системы примет максимальное значение $H(s) = \max$.
- Такие системы называются вероятностными.
- В реальности живые системы чаще характеризуются промежуточными значениями неопределённости, а именно
- 0 больше-равно $H(s)$ равно-меньше H_{\max} .
- Системы с такими свойствами определяются как вероятностно-детерминированные

Сложность и организованность

- Как соотносятся между собой сложность, неопределённость, организованность?
- Неопределённость системы мы можем сопоставить с мерой её структурной неорганизованности, хаотичности.
- При равной вероятности состояний $H(\max) = \log(2) N$ система имеет максимум неопределённости, поэтому её можно считать неорганизованной.
- Если есть какие-либо предпочтительные для системы состояния, неопределённость понижается $H(i)$ меньше $H(\max)$.

Организация систем

- Понижение неопределённости свойств систем (хаотизации) можно трактовать, оценивать как повышение её организации.
- Следовательно – **организация системы есть её устранённая неопределённость.**
- $H_{\max} - H(s) = \text{Орг-я}$ (абс. организация)
- Если $H(s) = H_{\max}$, орг-я = 0.
- Для детерминированных систем величина её абсолютной организации может быть рассчитана как $= \log(2) N$ [бит]

Относительная организация

- Помимо понятия «абсолютная организация» Ферстер ввёл понятие «относительная организация». Её мерой считается величина R , рассчитываемая по уравнению
- $R = 1 - H(s) / H_{\max}$ (формальный аналог избыточности).
- Анализируя это выражение, можно утверждать, что величина относительной организации R варьирует в пределах
- 0 больше-равно R равно-меньше 1
- дезорганизованная детерминированная

N_{max} - организация

- Считается, что мера относительной организации более удобна в сравнение с абсолютной. Она позволяет более объективно сопоставлять между собой различные системы, в том числе и живые, сравнивать, соотносить их по сложности.
- Тем не менее, Бир предложил следующую классификацию, в соответствии с которой все живые системы разделяются на 3 класса:

простые 0 больше-равно N_{max} меньше-равно 3

сложные 3 6

очень сложные N_{max} больше 6

Относительная организация

- В 70-х годах 20 века в ИК Украины на основе измерения и подсчёта R в живых системах предложили такую шкалу классификации :
- Детерминированные - R от 0.3 до 1;
- Квазидетерминированные R 0.1 - 0.3;
- Вероятностные – R от 0 до 0.3.
- Используя разные (нужные) варианты классификации, можно спрогнозировать взаимоотношение живой системы и среды.

Система - среда

- Живые системы обитают в конкретной, определённой среде. «Хорошо или плохо» они к ней адаптированы – для биологии весьма важный вопрос. Ответить на него можно, сравнивая витальные потребности системы и свойства, возможности среды для удовлетворения этих потребностей.
- Существует целый ряд принципов взаимоотношения системы и среды, фиксирующих основные требования их адекватного взаимодействия.
- Принципы имеют абстрактный характер, поэтому могут применяться для различных ситуаций.

Принципы адекватности «С-С»

- Принцип наименьшего действия (П. Мопертюи, 18 век) гласит: «Когда в природе происходит некоторое изменение, то количество действия, необходимое для изменения, является наименьшим».
- Принцип минимального действия (Гельфанд, Цейтлин, 1962). «Целесообразно работающая система стремится минимизировать свои взаимодействия со средой».

Принципы адекватности

- Принцип наимпростейшей конструкции (Н. Рашевски, 1943) «Та конкретная структура или конструкция, которую мы находим в живой природе, является простейшей из возможных, способных выполнять данную функцию в данных условиях».
- В 1954 г. Д.Кон усилил формулировку принципа Рашевски: «Органическая структура, необходимая для выполнения данной функции, должна быть оптимальной по количеству материала и затрат энергии».
- Позднее Рашевски сформулировал принцип адекватной конструкции организма: «Конструкция должна быть адекватной данной функции при заданных изменяющихся условиях среды»

Принцип адекватности «с-с»

- Сформулируем принцип адекватности «с-с», используя ранее рассмотренные понятия сложности и организации.
- Ж. система должна быть адекватна среде по сложности ($H_{\max-s} = H_{\max-out}$)
- организации ($O_s = O_{out}$) и относительной организации ($R_s = R_{out}$).
- *При изменении условий среды по сложности и организации живая система должна стремиться достичь нового состояния, чтобы по своим сложности и организации адекватно соответствовать новым условиям среды.*

Индикаторы

- Успешность адаптации живой системы к условиям среды можно оценивать с помощью определённых индикаторов, имеющих количественные оценки.
- Применительно к человеку таким индикатором может быть уровень жизни или производная от этого интегральная величина - продолжительность жизни.
- Этот показатель имеет свою историю. В 1825 г. Гомперц, изучая демографические данные, обнаружил, что у взрослых людей вероятность смерти возрастает экспоненциально. После 30 лет жизни через каждые 7 лет шанс умереть удваивается

Продолжительность жизни

- Но помимо возрастной, существуют и другие причины прерывания жизни. На это обратил внимание в 1860 г. Мейком.
- Совокупность этих сведений была сформулирована как закон Гомперца – Мейкома, который описывается уравнением:
- $M(x) = A + R \exp(ax)$, где $M(x)$ – вероятность умереть в возрасте X лет, A - фоновая компонента, параметр Мейкома, $R \exp(ax)$ – возрастная компонента смерти.
- Этим уравнением аппроксимируются т.н. кривые дожития, которые отображают продолжительность жизни в тех или иных условиях, т.е. уровень жизни.
- В принципе кривые длительности, продолжительности жизни успешно используются для оценки функционирования любых популяций: от человека до низших форм.

Кривые дожития

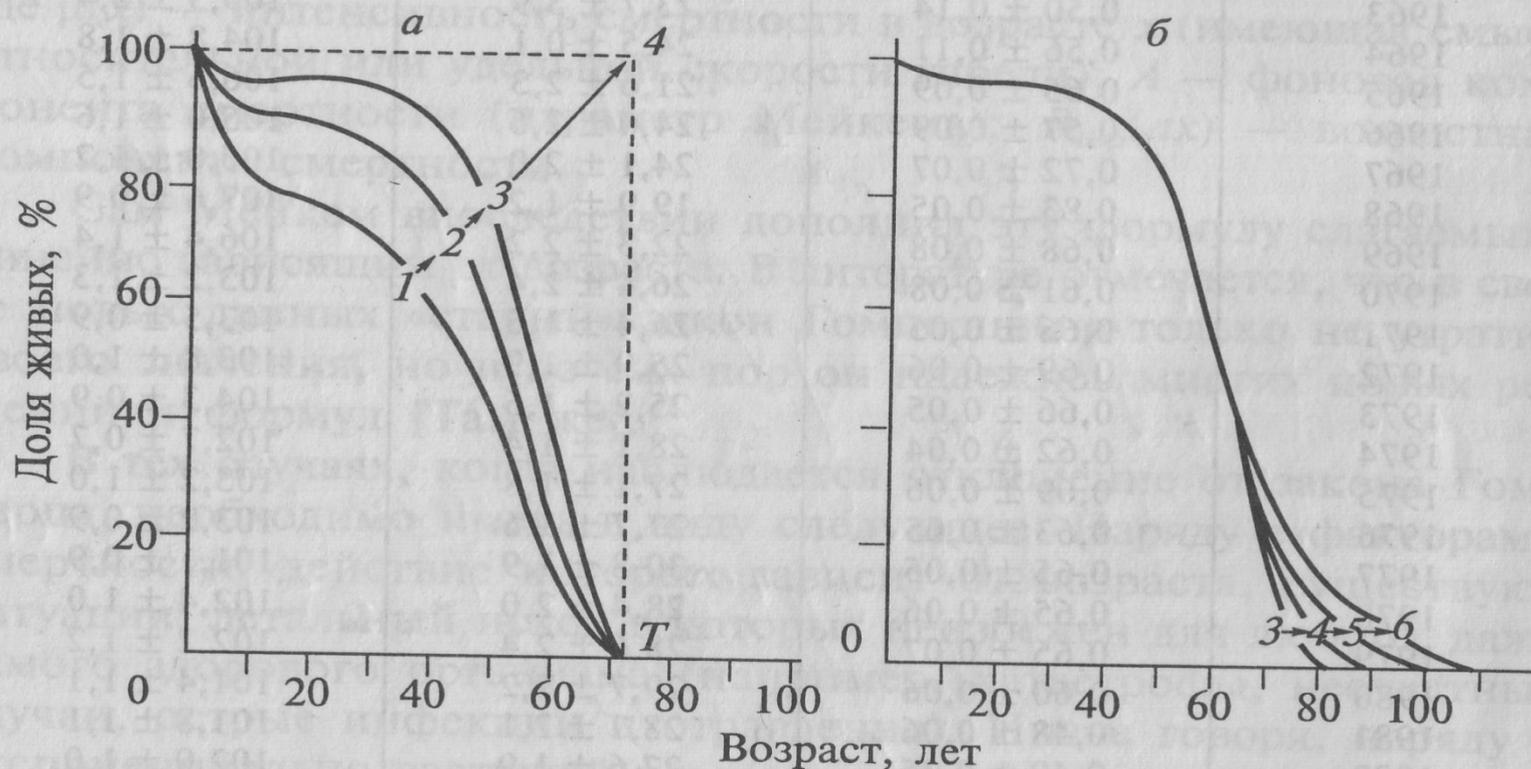
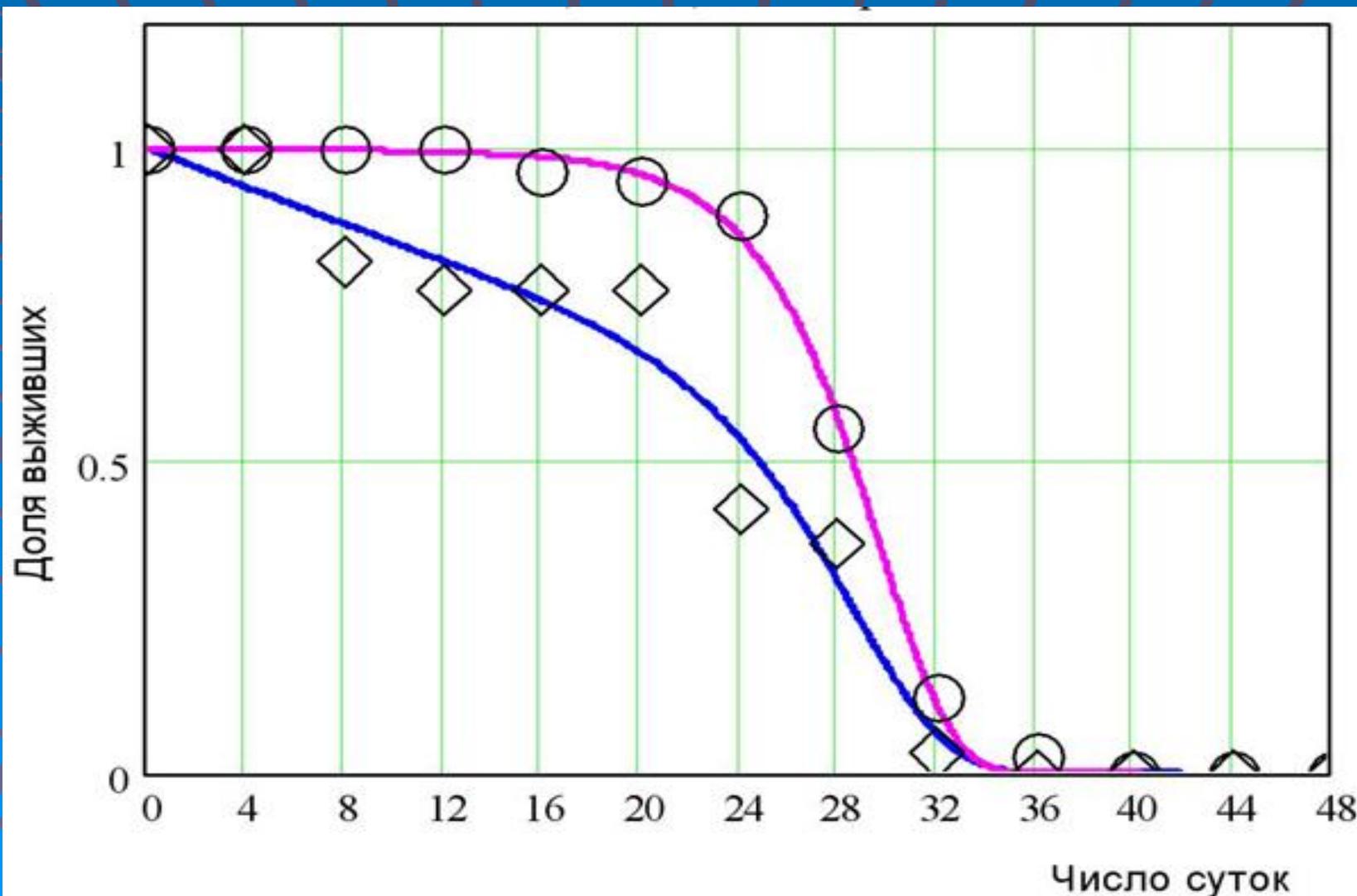


Рис. 7. Схема, иллюстрирующая традиционные (а) и новые (б) представления о тенденциях изменения продолжительности жизни людей.

Традиционные представления: 1, 2 — исторические этапы эволюции кривой дожития, 3 — современный вид кривой дожития, 4 — прогнозируемый предельный вид кривой дожития, T — гипотетический предел продолжительности жизни; новые представления: 3 — современный вид кривой дожития, 4—6 — прогнозируемые последовательные типы кривых дожития.

Кривая продолжительности жизни дрозофилы



Распределение Парето

- Внутри сообществ существуют некоторые закономерности, которые отображают определённые внутренние свойства.
- В 20-х годах прошлого века итальянский экономист и социолог Вильфред Парето предложил математическую модель распределения богатства среди членов общества (ранговое распределение Парето).
- $\ln M(i) = a - b \ln i$, где i – ранг социальной группы, $M(i)$ – финансы, находящиеся в распоряжении i -той группы, a, b – константы.
- График.....

Распределения Ципфа-Парето

- Развивая идеи Парето, профессор Гарвардского университета Ципф вывел уравнение $P(i) = A i^{-b}$.
- Распределение Ципфа-Парето справедливо для множества явлений в живой природе и социальных группах.
- «За 80% всех событий ответственно 20% участников».
- Не исключено, что закон отображает результат оптимального взаимодействия систем и среды, поскольку он устойчиво выполняется в разных сферах интересов и деятельности.
- Какова его значимость для биологических процессов?