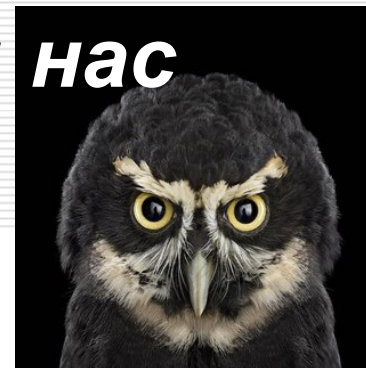


Животное внутри нас



ЗООЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Биологические корни принятия решений у человека

Андрей Чабовский

Лаборатория популяционной экологии

www.laboratory-ecol.ucoz.org

Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН



Животное внутри нас



**To be or not to be?
That is the question**

Животное внутри нас



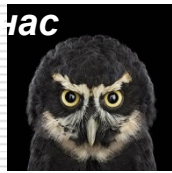
**To breed or not to breed?
That is the question**

Животное внутри нас



Outlines

**To eat or not to eat?
That is the question**



Outlines

- ❑ Договоримся о терминах
 - ❑ Экономика – поведенческой экологии и эволюционной биологии
 - ❑ Модели принятия оптимального решения: от простого к сложному
 - ❑ Оптимальны ли оптимальные решения?
 - ❑ Поведенческая экология – политике и экономике
-



О терминах: предмет

☐ Фуражирование $\neq$ Питание

■ Питание – **физиология**

☐ Потребление, переваривание, усвоение – ЖКТ

■ Фуражирование – **поведение**

☐ Поиск, добыча, манипулирование пищей, в том числе, принятие решений о том Что, Где, Когда и Как *искать, добывать и употреблять*



О терминах: предмет

- Фуражирование в широком смысле:
 - Любое поведение, связанное с поиском и получением **значимых (ценных) ресурсов**
 - Значимые ресурсы – те, что увеличивают **приспособленность (успех)**
 - Еда
 - Секс
 - Партнер
 - Убежище
 - Территория
 - ...
-



О терминах: предмет

□ Фуражирование – поведение, связанное с получением значимых ресурсов

■ Что

■ Где

■ Когда

■ Как

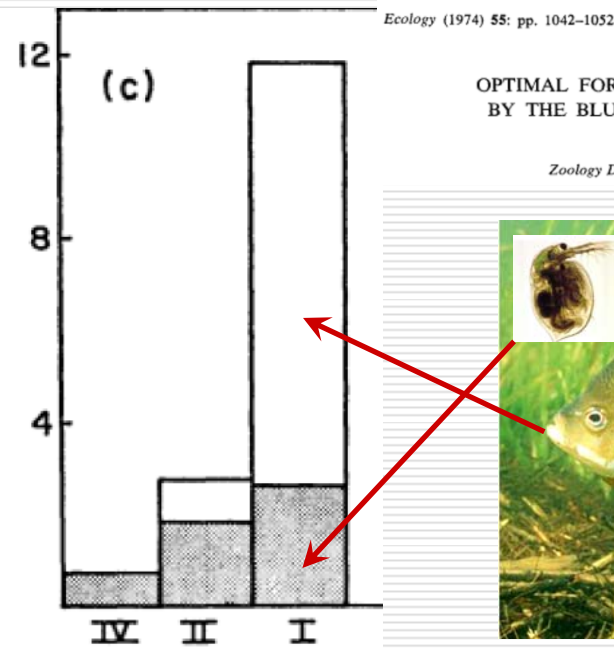
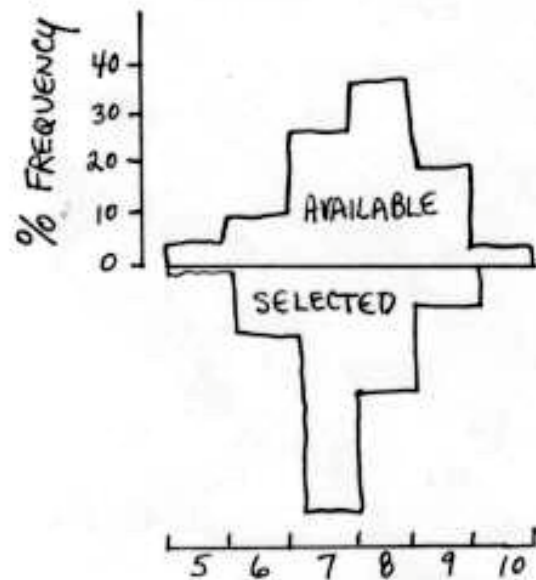


Принятие решений
(Decision Making)



О терминах: предмет

- Принятие решений = неслучайный выбор из набора имеющихся опций



OPTIMAL FORAGING AND THE SIZE SELECTION OF PREY BY THE BLUEGILL SUNFISH (*LEPOMIS MACROCHIRUS*)¹

EARL E. WERNER² AND DONALD J. HALL
Zoology Department, Michigan State University, East Lansing 48824



«Говорит, что за графу не пустили, пятую»
В. Высоцкий



О терминах: теория

□ Фуражирование – поведение, связанное с получением значимых ресурсов

■ Что

■ Где

■ Когда

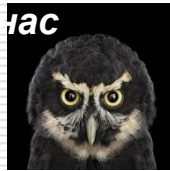
■ Как

■ Почему? (Why?)

■ Зачем? (Why?)

Принятие решений
(Описание)

Принятие решений
(Объяснение)



Теория: логика

- Принятие решений = неслучайный выбор
 - **Почему** мы (и другие животные) должны делать выбор?
 - Принцип *распределения* (Principle of Allocation) (Levins, 1968; MacArthur, 1972; Pianka, 1978):
 - Ресурсы и время *ограничены*
 - *Невозможно максимизировать все жизненные функции одновременно*
 - There is always a *trade-off* (за все надо платить)
 - *Бесплатный сыр только в мышеловке*
 - *Мастер на все руки – дилетант во всем*
-



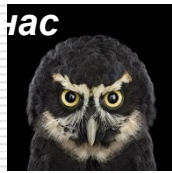
Теория: логика

- Принятие решений = неслучайный выбор
 - **Зачем** мы (и другие животные) должны делать выбор?
 - *Оптимальное распределение* ресурсов и времени: максимальная приспособленность
 - *Оптимальный выбор* (решение)
 - Оптимальные решения поддерживаются естественным отбором
-



Теория: логика

- Оптимальность выбора (принятия решения)
 - Ресурсы – это то, что увеличивает приспособленность (*fitness*)
 - Оптимальные решения максимизируют приспособленность
 - Приспособленность – относительный репродуктивный успех
 - количество потомков (копий генов) особи в череде поколений (*генетическая приспособленность*)
-



Теория: логика

- Оптимальные решения максимизируют приспособленность
 - Шансы выжить и размножиться
 - Приспособленность (число копий собственных генов в череде поколений) – основная валюта для оценки оптимальности принятых решений
 - Понятный, обоснованный, но трудно измеряемый параметр
-



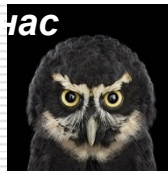
Теория: логика

- Дополнительные конвертируемые валюты
 - Энергия
 - Время
 - Энергия/Время
 - Ресурсы
 - *Дополнительные валюты – корреляты генетической приспособленности*
-



Теория: логика

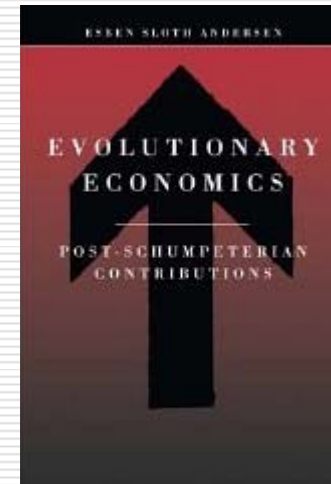
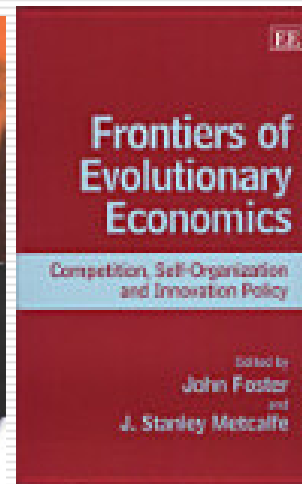
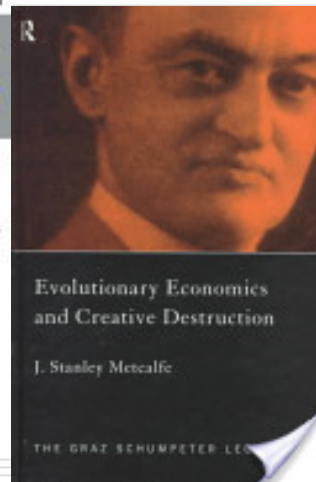
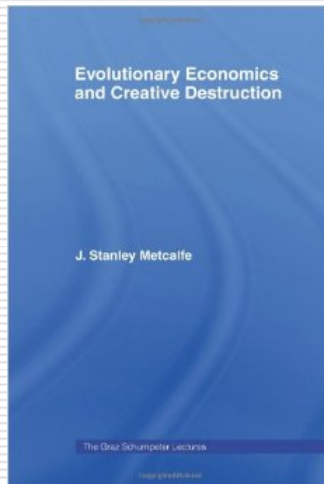
- Платы и Выигрыши принятия решения
 - *Понижает приспособленность: Плата (Cost)*
 - *Повышает приспособленность: Выигрыш (Benefit)*
 - Любые решения – трейдофф между Платами и Выигрышами
 - Решение выгодно, если **$V > C$**
 - *Животные «пытаются» максимизировать итоговые выигрыши (сумма выигрышей минус сумма плат)*
-



Теория: логика

□ Решение выгодно, если **$V > C$**

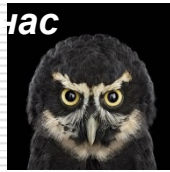
- *Естественный отбор поддерживает поведение, которое максимизирует приспособленность за счет положительного баланса выигрышей и плат принятых решений – Эволюционная экономика*





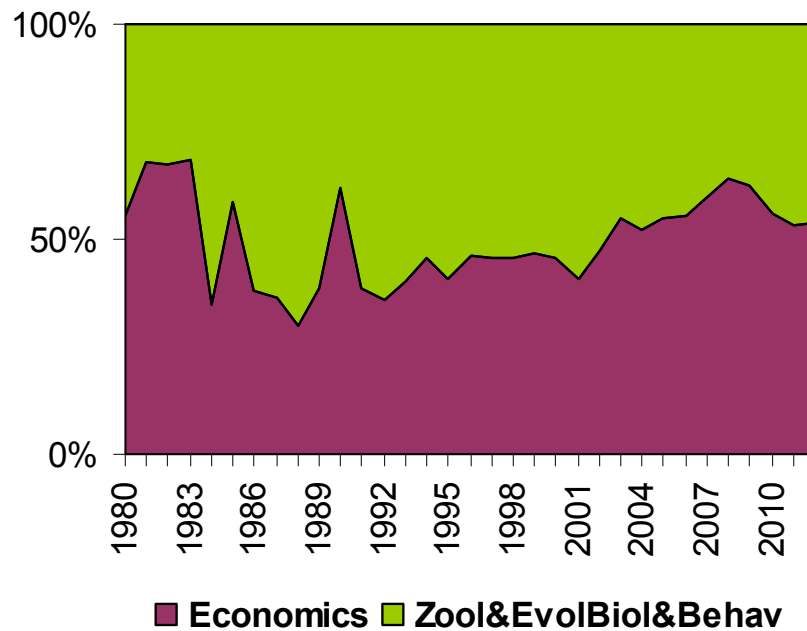
Экономика - Зоологии

- Примеры экономических понятий в зоологии
 - Costs
 - Benefits
 - Trade-off
 - Investment
 - Returns
 - Capital
 - Stack
-

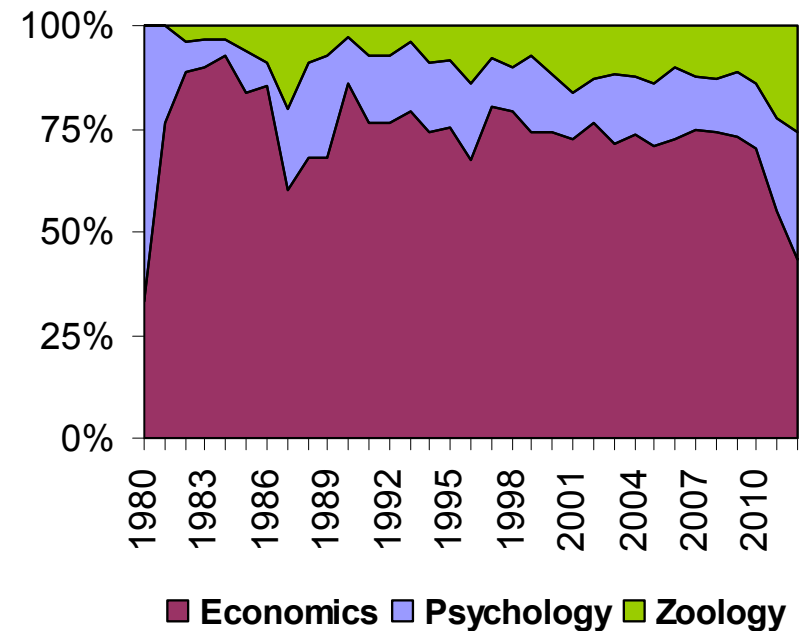


Экономика - Зоологии

**Cost* OR Benefit* In Topic
Web Of Science**



**"Decision Making" In Topic
Web Of Science**





Модели оптимального фуражирования: Food Choice

- ☐ Выбор жертвы. Что добывать и есть?
(Optimal Diet Model)
 - Выигрыши:
 - ☐ Энергия
 - ☐ Вода
 - ☐ Питательные вещества
 - Платы:
 - ☐ Время на добычу и поедание
 - ☐ Токсины
 - ☐ Риск хищничества
-



Что выбрать?

Какой размер жертвы оптимален?

- Выбор жертвы: размер

- Какого размера должна быть жертва, чтобы максимизировать получаемую энергию?

- Получаемая энергия, **E**

- ➡ Чем больше, тем лучше?



Что выбрать?

Какой размер жертвы оптимален?

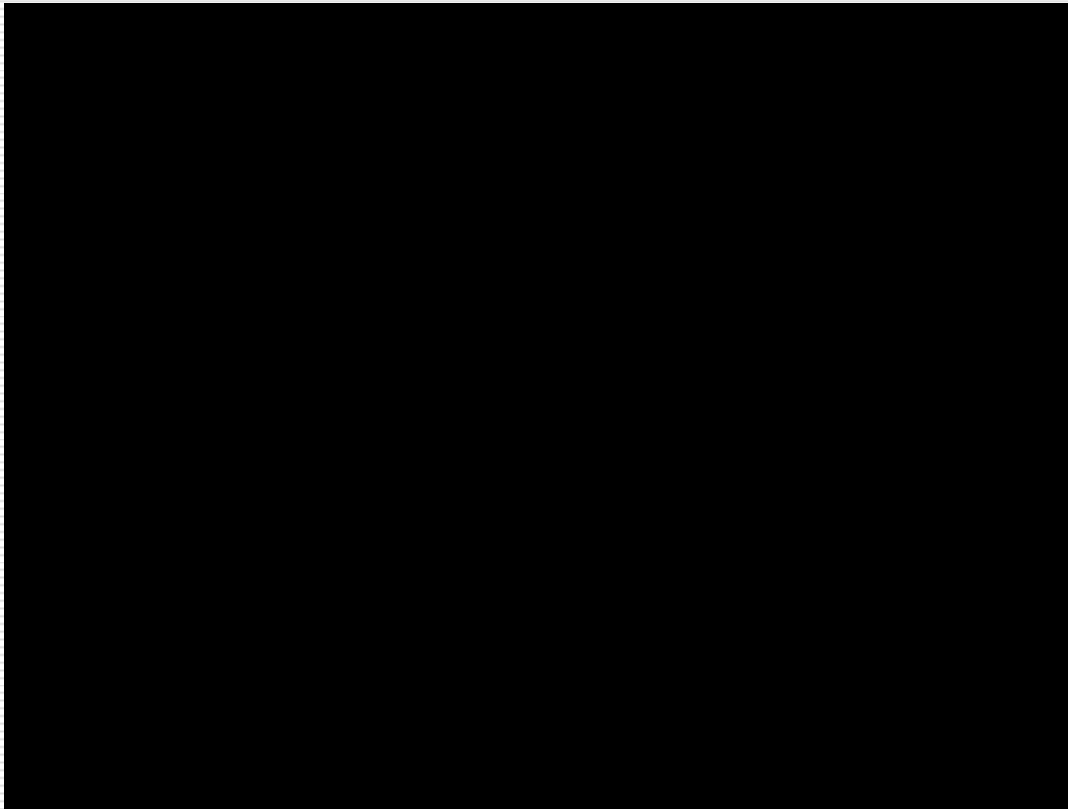
- Жертва 1 или Жертва 2?
 - Валюта: Рентабельность (Profitability)
 $P = \text{Энергия (В)} / \text{Время (С)}$
 - Параметры:
 - $E1$ и $E2$ – энергия от Жертвы 1 и Жертвы 2
 - $Th1$ и $Th2$ – время на добычу и потребление (Handling Time)
 - Оптимальный выбор:
 - Если $E1/Th1 > E2/Th2$, выбирай Жертву 1
 - ➡ Чем рентабельнее, тем лучше
-



Что выбрать?

Какой размер жертвы оптимален?

- ☐ Вороны, добывающие моллюсков





Что выбрать?

Какой размер жертвы оптимален?

- Вороны выбирают моллюсков оптимальных по рентабельности, $P=E/Th$

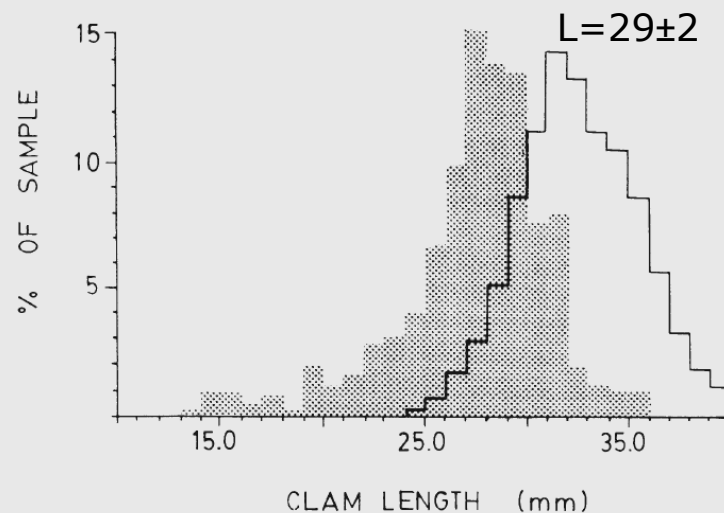
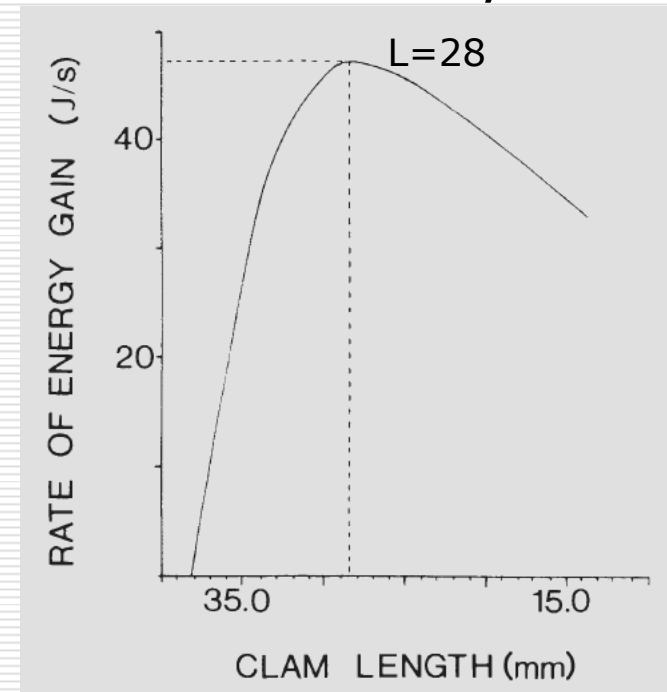
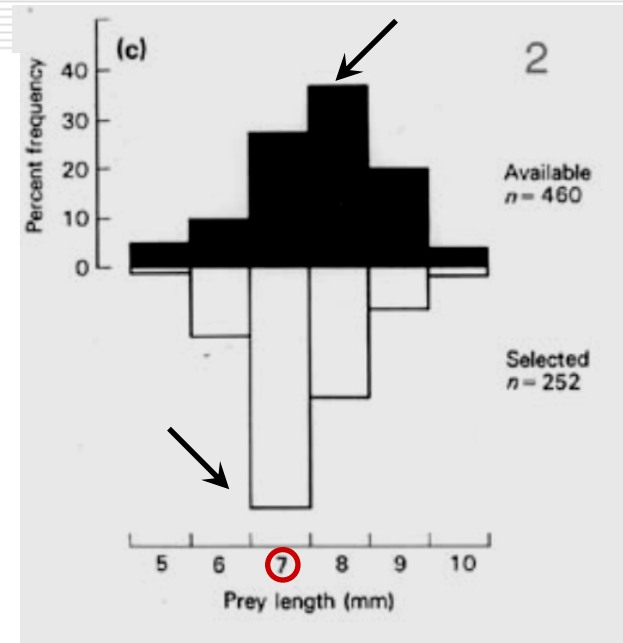
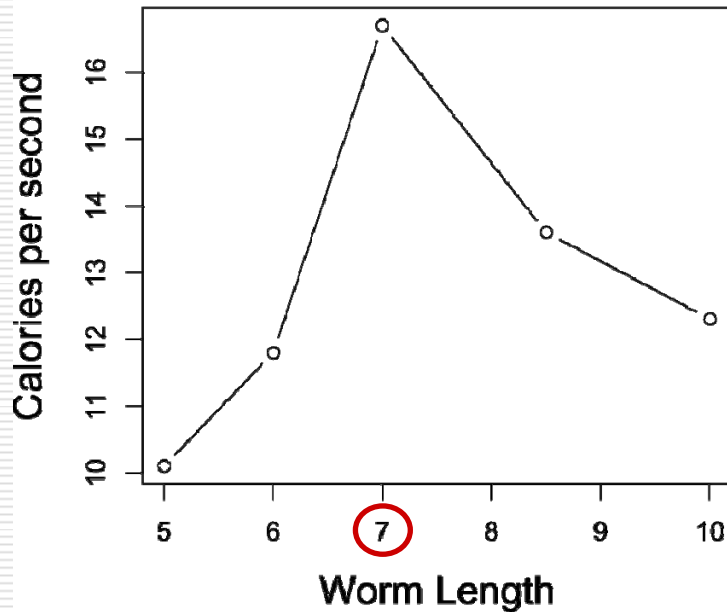


FIG. 2. Comparison of the size frequency distributions of 3265 clams eaten by crows on Mitlenatch Island (open histogram) and 514 extracted from the beach but then rejected (shaded histogram).



Что выбрать? Какой размер жертвы оптимален?

- ❑ Кулики выбирают жертву оптимальную по рентабельности, $P=E/Th$, но не по энергетической ценности, E



- Кулики выбирают меньшую по размеру и менее обильную, но более рентабельную добычу



Синица в руках или журавль в небе?

☐ Допущения

- Жертвы изменчивы по рентабельности, E/Th , и обилию
 - ☐ Обилие отрицательно коррелирует с временем поиска, T_s
 - Жертвы встречаются последовательно, одна за другой
 - ➡ Что делать при встрече жертвы?
Есть то, что есть, или искать более рентабельную жертву?
-



Синица в руках или журавль в небе?

- При встрече Жертвы 1 есть ее или искать Жертву 2?
 - Параметры:
 - $Ts1$ и $Ts2$ – время на поиск Жертвы 1 и Жертвы 2
 - Оптимальный выбор:
 - При встрече Жертвы 1 ешь ее, если и только если $E1/Th1 > E2/(Th2 + Ts2)$, если нет – ищи другую
 - ➡ Если $E1/Th1 > E2/Th2$, всегда ешь ее при встрече и не ищи другую, даже если $Ts2 \rightarrow 0$
-



Модели оптимального фуражирования: синица или журавль?

- Предсказания (откровения):
 - Если есть выбор, ешь то, что более рентабельно
 - Включай в диету менее рентабельную пищу только тогда, когда поиск более рентабельной занимает много времени
 - Будь неразборчив (стань *генералистом*), когда пищи мало
 - Будь разборчив (стань *специалистом*) и ищи более рентабельную пищу, только когда ее много
-



Модели оптимального фуражирования: синица или журавль?

□ Практика:



- ➡ Будь неразборчив (стань *генералистом*), когда пищи мало
- ➡ Будь разборчив (стань *специалистом*) и ищи более рентабельную пищу, только когда ее много

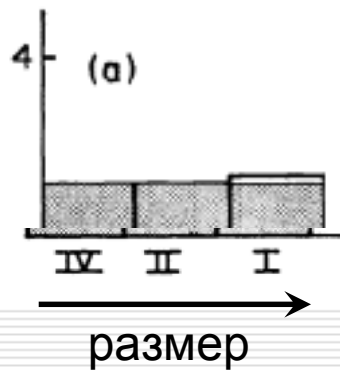


Модели оптимального фуражирования: Проверка

Низкая
плотность

Высокая
плотность

► Будь разборчив и выбирай более рентабельную пищу, только когда ее много



Ecology (1974) 55: pp. 1042-1052

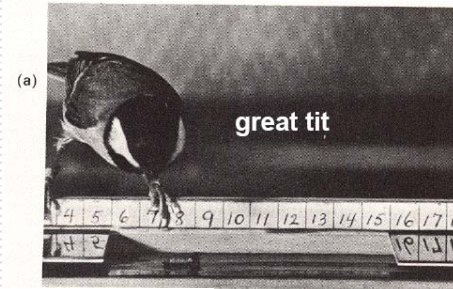
OPTIMAL FORAGING AND THE SIZE SELECTION OF PREY
BY THE BLUEGILL SUNFISH (*LEPOMIS MACROCHIRUS*)¹

EARL E. WERNER² AND DONALD J. HALL
Zoology Department, Michigan State University, East Lansing 48824

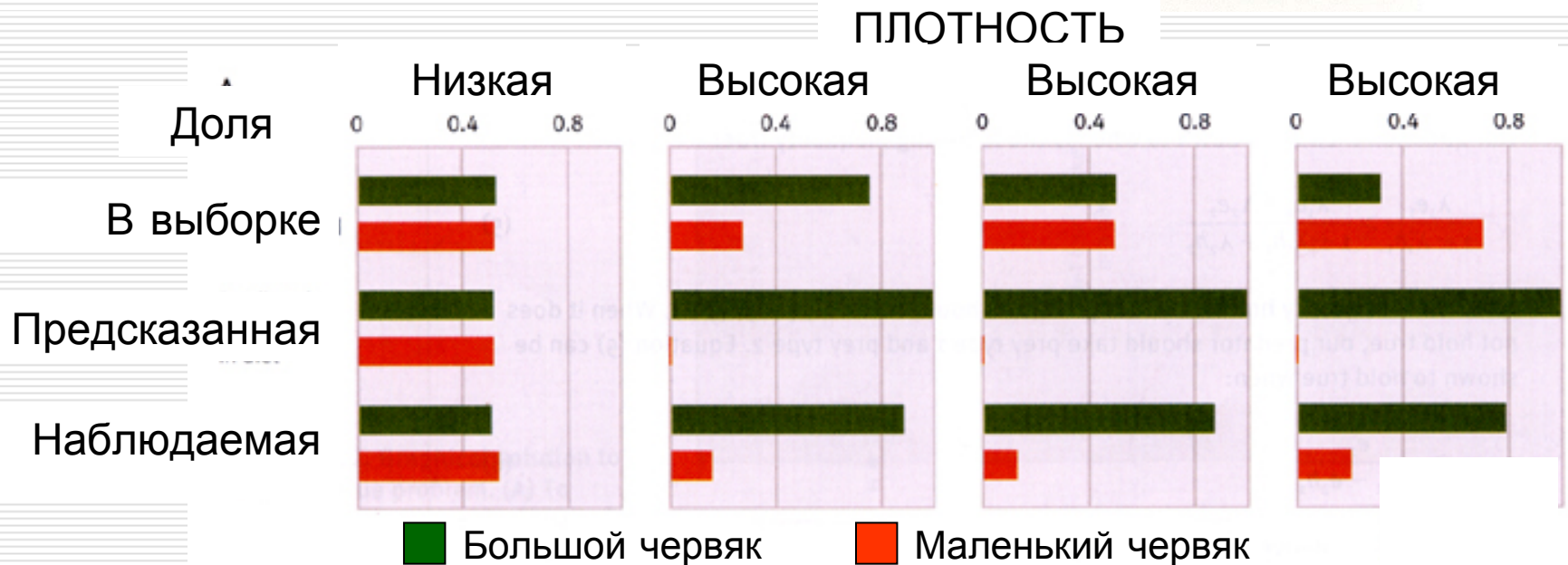


Модели оптимального фуражирования: Проверка

► Будь разборчив и выбирай более рентабельную пищу, только когда ее много



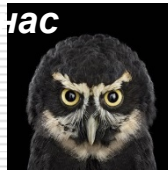
Sir John Krebs



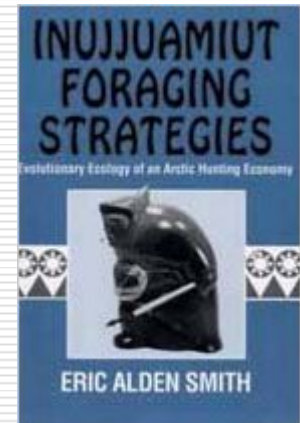
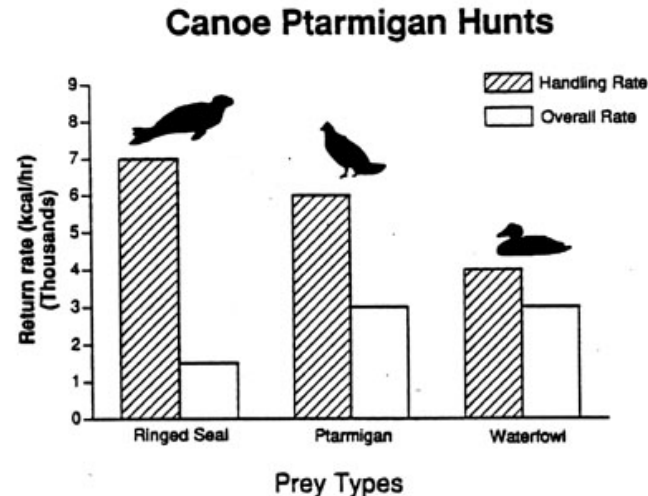
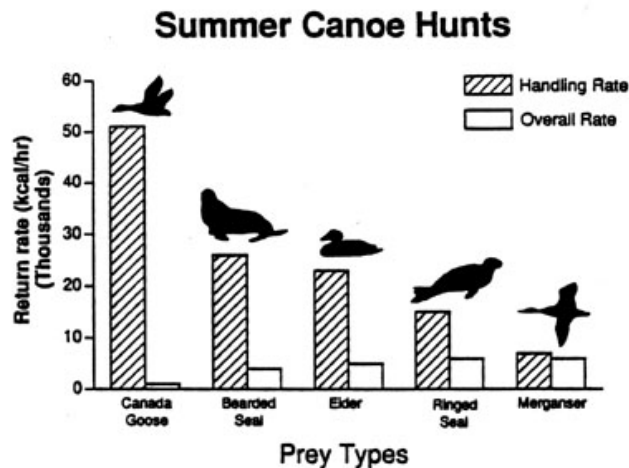


Множественный выбор

- Ранжируем все жертвы по рентабельности
 - $E_1/h_1 > E_2/h_2 > E_3/h_3$
 - Включаем менее рентабельную жертву в диету, если ее рентабельность превышает общую рентабельность более рентабельных жертв с учетом времени на их поиск:
 - $E_3/h_3 > (E_1 + E_2)/(S_1 + h_1 + S_2 + h_2)$
-



Выбор жертв эскимосами



Handling rate = рентабельность жертвы

- Во время охоты эскимосы преследуют только ту жертву, которая по рентабельности выше, если учесть время на поиск остальных более рентабельных жертв



Модели оптимального фуражирования: фастфуд

□ Как увеличить рентабельность, E/T ?

■ Сократить Th , время потребления!



.....
Asymptotic prey profitability drives star-nosed moles to the foraging speed limit

Kenneth C. Catania & Fiona E. Rempel **letters to nature**

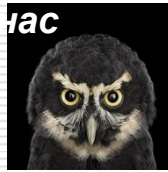


22 выроста

25,000 чувствительных Eimer's органов

100,000 нейронов (в 6 раз больше, чем на руке человека)

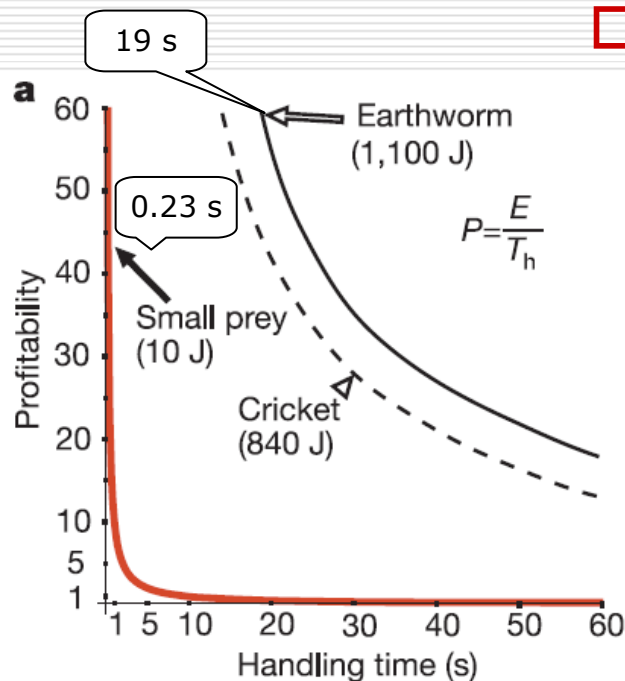
- Менее $\frac{1}{4}$ с, чтобы обнаружить найти и съесть один объект
- Может съесть 10 «полных ртов» червяков за 2.3 с



Модели оптимального фуражирования: фастфуд

- $P = E/Th$ меняется в зависимости времени обработки пищи, Th , не линейно, а по гиперболе

- Если умеешь есть быстро:



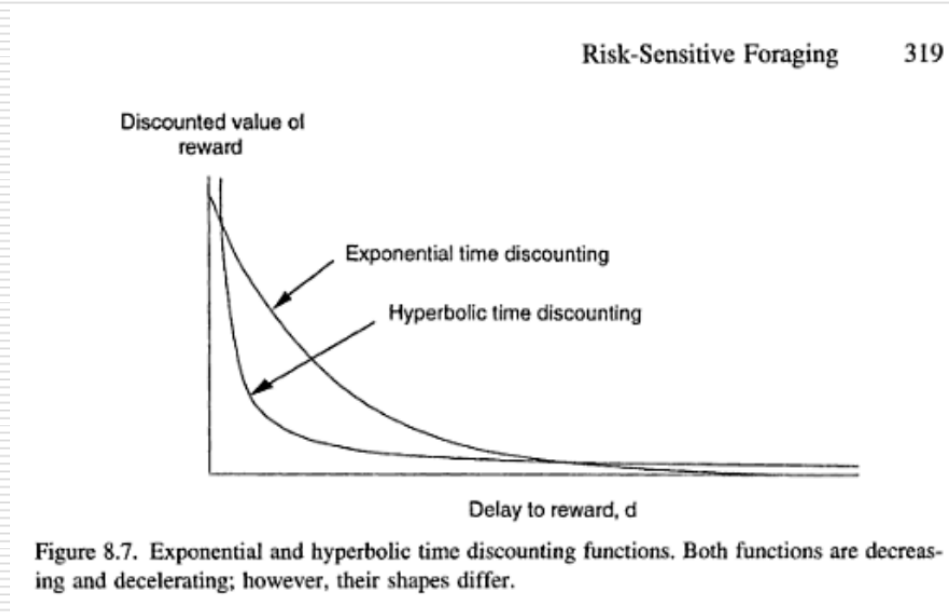
- Средняя рентабельность мелкой добычи может быть больше, чем крупной
- При встрече мелкой добычи ешь ее без всяких «если»:
 - при $Th_2 \rightarrow 0$
$$E_2/Th_2 \text{ всегда } > E_1/(Th_1 + Ts_1)$$
- Включай в диету крупную добычу, только если мелкой мало и ее долго искать

Модели оптимального фуражирования: Риск

- Как увеличить рентабельность, E/T ?
 - Сократить время ДО потребления, T_r (time to reward or return)!
 - Цена награды тем меньше, чем больше время до ее получения (delayed reinforcement or return)
 - Получение отложенной во времени награды связано с рисками
 - Относительно высокая ценность мгновенно получаемых малых наград:
 - Семечки
 - Моментальная лотерея
 - Курение
-

Модели оптимального фуражирования: Риск

❑ Фуражирование, связанное с риском



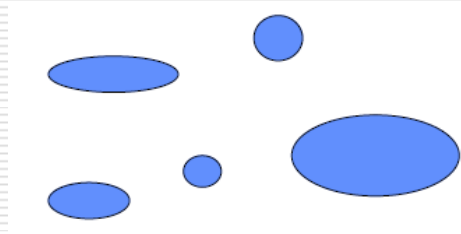
❑ Утром деньги – вечером стулья, но деньги вперед



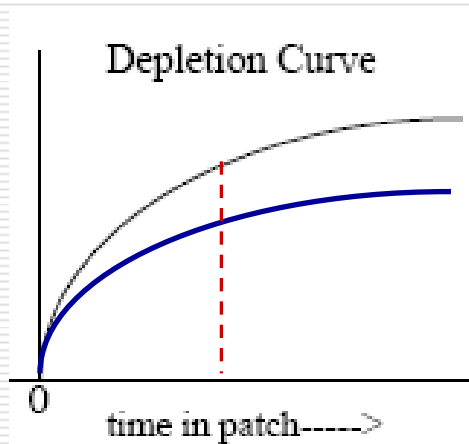
Выбор места



- Ресурсы распределены неравномерно, а пятнами



- Эксплуатация пятна (источника) приводит к сокращению ресурса и его рентабельности

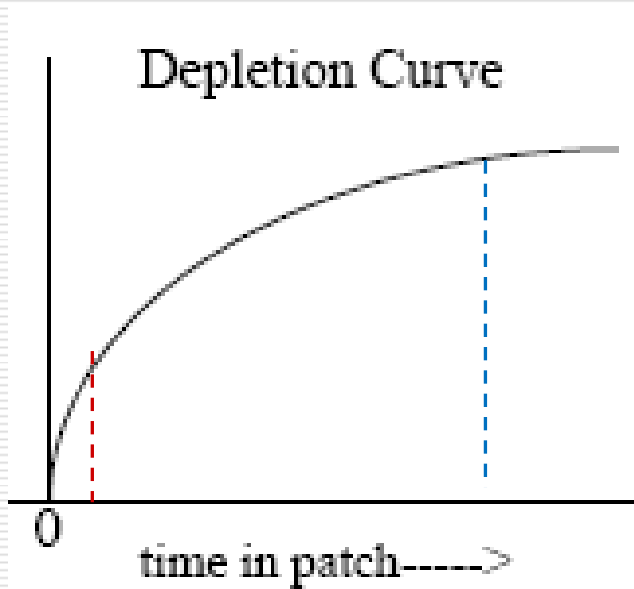


- Сначала скорость получения энергии быстро растет, но затем постепенно падает
- Общее количество энергии продолжает увеличиваться, но выигрыш был бы больше, если найти новое «свежее» пятно, где скорость потребления была бы выше

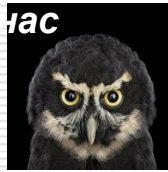


Оптимальное время смены места

- Когда нужно остановиться и начать искать новое пятно? "Уйти или остаться»?
- Marginal Value Theorem (Charnov, 1978)



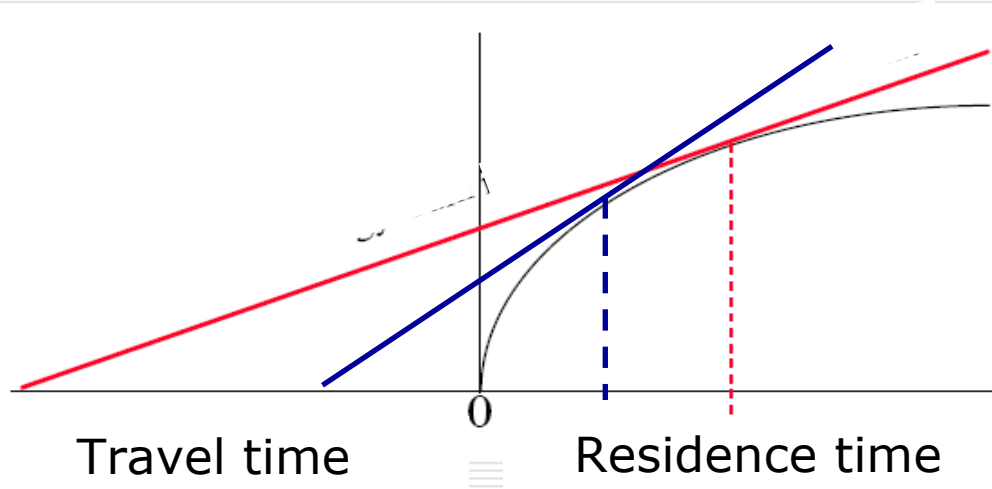
- Если остановиться слишком рано, полученная энергия не компенсирует затраты на поиск
- Если остановиться слишком поздно, время, которое можно было бы потратить на поиск нового пятна, уйдет на мало эффективную добычу



Оптимальное время смены места

□ Marginal Value Theorem (Charnov, 1978)

- Когда рентабельность пятна снижается до уровня рентабельности «среднего» пятна с учетом времени поиска, пора уходить



- Касательная к кривой отмечает точку максимального набора энергии: $dE(t)/dt$
(gain/time) = $E(h)/(Tt+Th)$
- Время ухода зависит от времени поиска



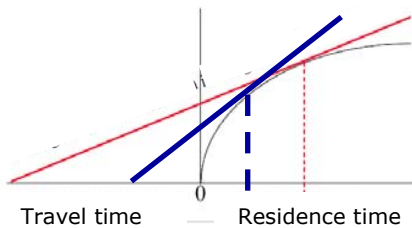
Marginal Value Theorem: Проверка

□ Предсказания:

■ Оставайся дольше

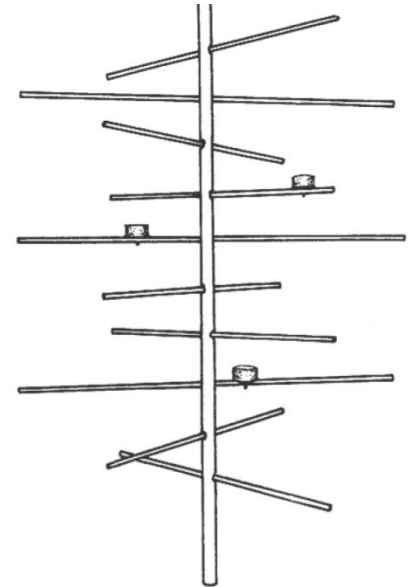
■ если пятен мало и они далеко

■ в более богатых пятнах



- Больших синиц держали в помещении, где в банках с песком и крышками, расположенных на «ветках», были червяки (их количество меняли)
- «Время поиска» - легкость открывания крышки

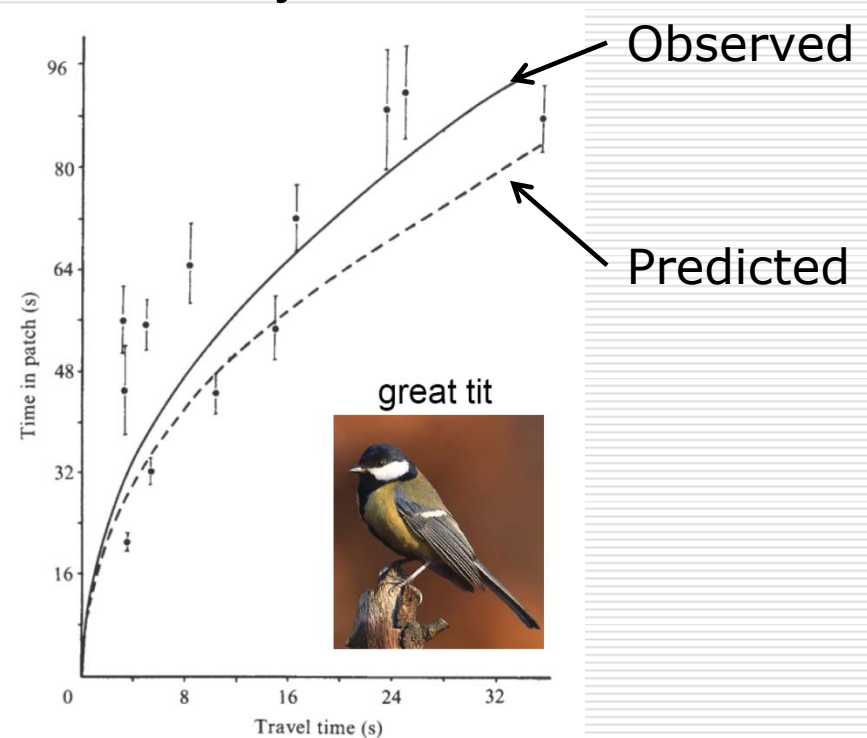
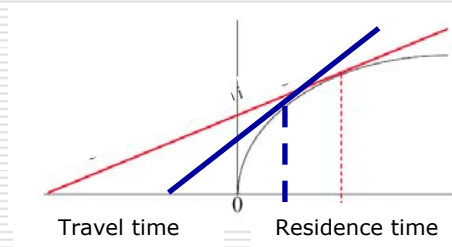
great tit





Marginal Value Theorem: Проверка

- Наблюдаемое время пребывания «в пятне» было близко к предсказанному



Cowie, R. J. 1977. Optimal foraging in great tits *Parus major*. Nature.

Теория оптимального фуражирования: приложения

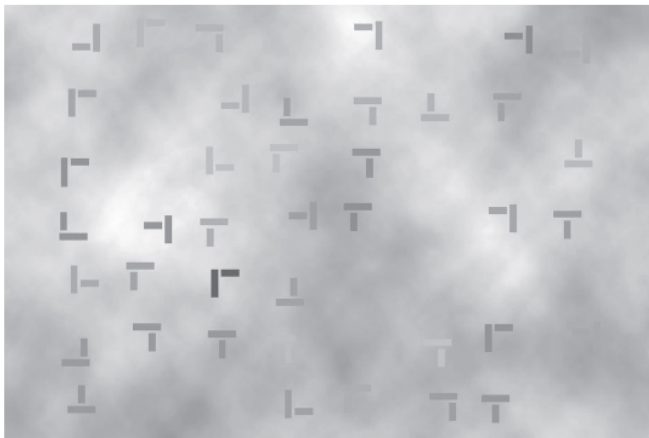
□ Психология

Psychological Science

<http://ps.sagepub.com/>

A Bayesian Optimal Foraging Model of Human Visual Search

Matthew S. Cain, Edward Vul, Kait Clark and Stephen R. Mitroff
Psychological Science published online 6 August 2012



Psychological Review

Optimal Foraging in Semantic Memory

Thomas T. Hills, Michael N. Jones, and Peter M. Todd

Online First Publication, February 13, 2012. doi: 10.1037/a0027373

Semantic memory search appears to be similar to search in physical space, involving a dynamic process of mediating between local exploitation and global exploration of clusters of information in much the same way that animals forage among patches of food in their environment. A dynamic process has been postulated

Коля, Артур, Петя..., Игорь.....,
Филипп....., Ян.....,
Авраам, Исаак....., Яков.....,
Адам..., Ева..., Лена, Катя..., Оля.....
Кристина,....Джон, Пол, Джордж,
Ринго.....Ричард, Роберт, Роб.....,
Римма....., Роза.....

Теория оптимального фуражирования: приложения

□ Информатика и Computer Science



Bacterial Foraging Optimization

Kevin M. Passino (The Ohio State University, USA)

Volume 1, Issue 1. Copyright © 2010. 16 pages.



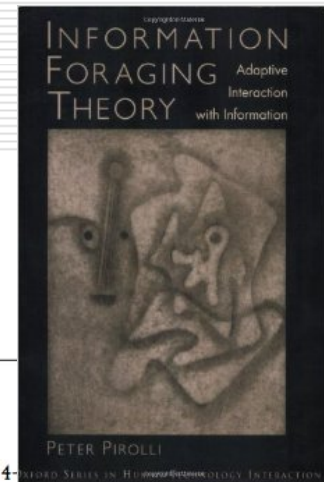
CHICAGO JOURNALS

An Optimal Foraging Approach to Information Seeking and Use

Author(s): Pamela Effrein Sandstrom

Reviewed work(s):

Source: *The Library Quarterly*, Vol. 64, No. 4 (Oct., 1994), pp. 414-

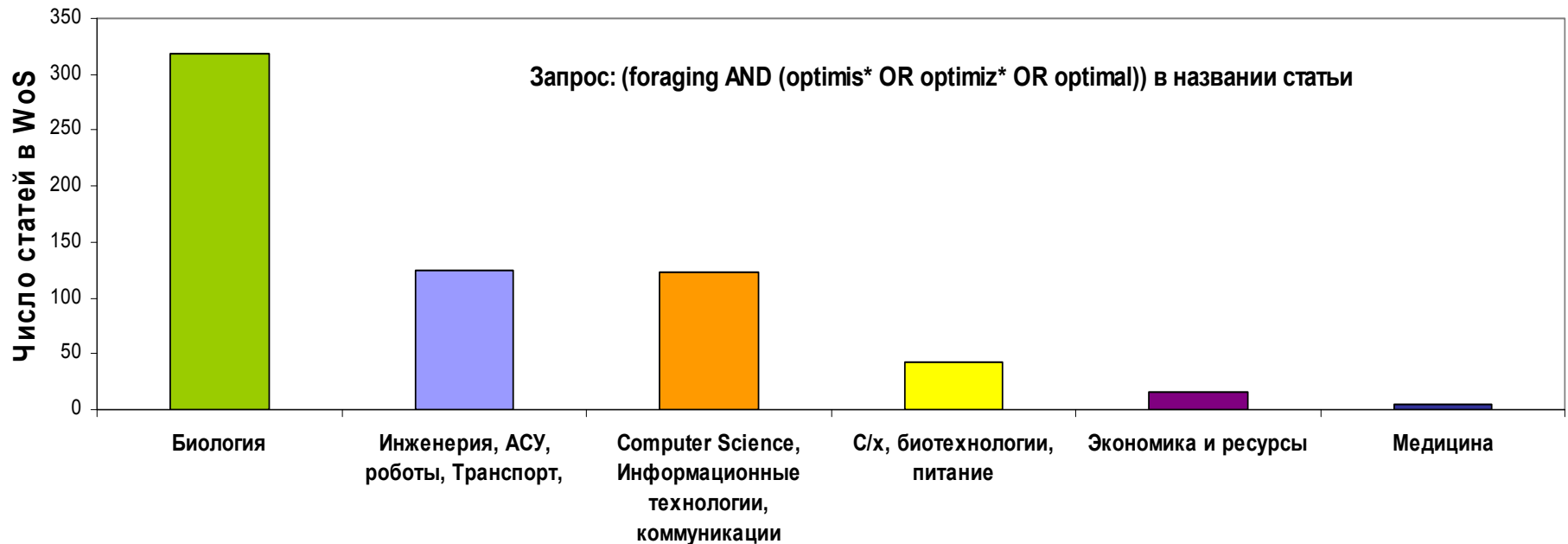


International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME)
ISSN: 2319-6386, Volume-1, Issue-4, March 2013

Survey of Bacterial Foraging Optimization Algorithm

Riya Mary Thomas

Теория оптимального фуражирования: приложения





Модели оптимального фуражирования: Риск

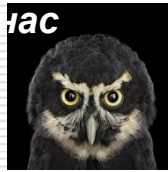
- Непредсказуемость распределения ресурса:
 - Что лучше: непредсказуемость или стабильность?
 - Рисковать или нет?

Anim. Behav., 1980, **28**, 820–830

AN EMPIRICAL DEMONSTRATION OF RISK-SENSITIVE FORAGING PREFERENCES

BY THOMAS CARACO*, STEVEN MARTINDALE & THOMAS S. WHITTAM





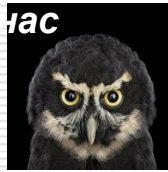
Модели оптимального фуражирования: Риск

- Модель эксперимента: выбор стабильного или изменчивого ресурса



	Сытые	Голодные
	<u>Кормушка 1</u>	<u>Кормушка 2</u>
Число зерен	2	0 или 4
Вероятность обнаружения	1.0	0.5
Средняя ценность	2	2

- Птицы выбирали риск, когда были голодными



Модели оптимального фуражирования: Риск

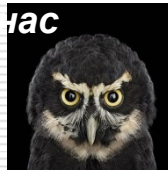
□ Сытые избегали риска



Сытые

	<u>Кормушка 1</u>	Кормушка 2
Число зерен	2	0 или 4
Вероятность получить достаточно/недостаточно	<u>1/0</u>	<u>0.5/ 0.5</u>

- Стабильный ресурс – вероятность получить достаточно пищи = 100%
- Изменчивый ресурс: 50% - получить больше, чем надо, и 50% - меньше, чем надо



Модели оптимального фуражирования: Риск

□ Голодные – рисковые



Голодные

	Кормушка 1	<u>Кормушка 2</u>
Число зерен	2	0 или 4
Вероятность получить достаточно/недостаточно	<u>0/1</u>	<u>0.5/0.5</u>

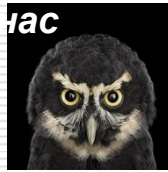
- Стабильные ресурс: 0 шансов получить достаточно пищи
- Изменчивый ресурс: 50% получить достаточно пищи



Модели оптимального фуражирования: Риск

- ☐ Рисковать или нет?
- Рисковать, если текущий бюджет энергии негативный
- Не рисковать, если текущий бюджет позитивный





Модели оптимального фуражирования: Риск

□ Разная предсказуемость ресурса

- Скворцам предлагали выбор между постоянным, слабо и сильно изменчивым ресурсом

- *Constant* = 3 червяка
- *LV* = 2 or 4 червяка
- *HV* = 0 or 6 червяка
- *Средняя ценность* = 3

- Они предпочитали слабо изменчивый и избегали сильно ИЗМЕНЧИВОГО

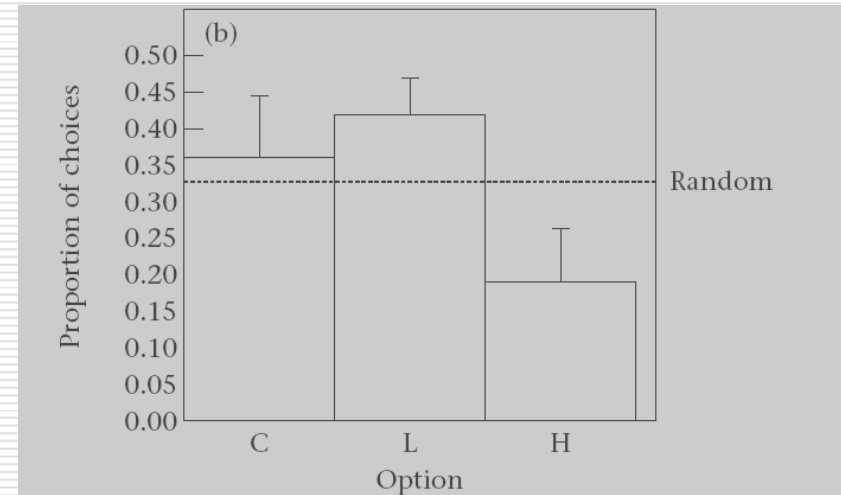
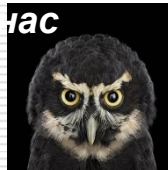


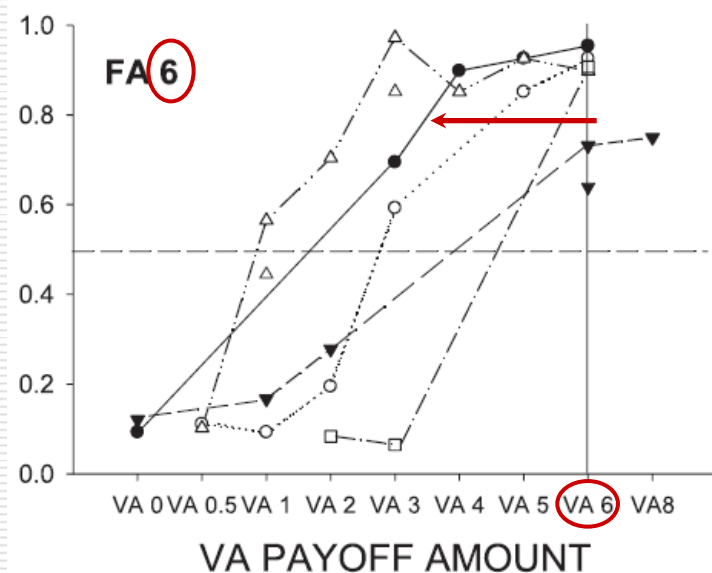
Figure 1. Birds' preferences in the binary (a) and trinary (b) treatments. Both (a) and (b) show the median of the eight birds'

C – Constant, L – Lowly variable, H- Highly variable



Оптимальны ли решения?

❑ Субоптимальный рискованный выбор изменчивого ресурса



■ Выбор в пользу изменчивого и в итоге менее выгодного ресурса по сравнению со стабильным

VA0.5, VA1, VA2 и т.д. – изменчивый ресурс со соответствующим цифре средним; FA 6 – фиксированный ресурс=6

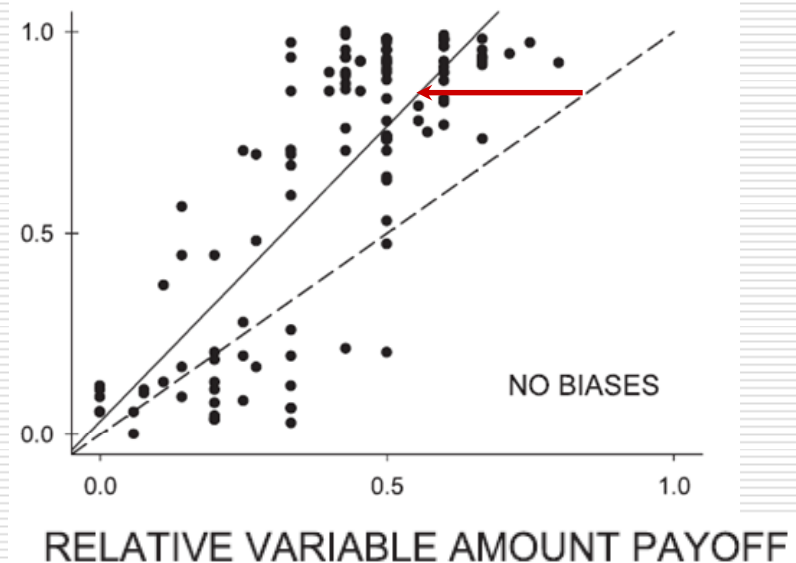
JOURNAL OF THE EXPERIMENTAL ANALYSIS OF BEHAVIOR 2012, 98, 139–154 NUMBER 2 (SEPTEMBER)

RISKY CHOICE IN PIGEONS: PREFERENCE FOR AMOUNT VARIABILITY USING A TOKEN-REINFORCEMENT SYSTEM

CARLA H. LAGORIO
UNIVERSITY OF WISCONSIN - EAU CLAIRE

AND

TIMOTHY D. HACKENBERG



Оптимальны ли оптимальные решения?

- Оптимальный выбор как результат случайного автокаталитического процесса



Ethology Ecology & Evolution

Publication details, including instructions for authors and subscription information:
<http://www.tandfonline.com/loi/teee20>

Collective patterns and decision-making

J.L. Deneubourg^a & S. Goss^a

^a Unit of Theoretical Behavioural Ecology, CP 231, Université Libre de Bruxelles, 1050, Bruxelles, Belgium
Version of record first published: 19 May 2010.

- Муравьи быстро выбирают кратчайшее расстояние до корма

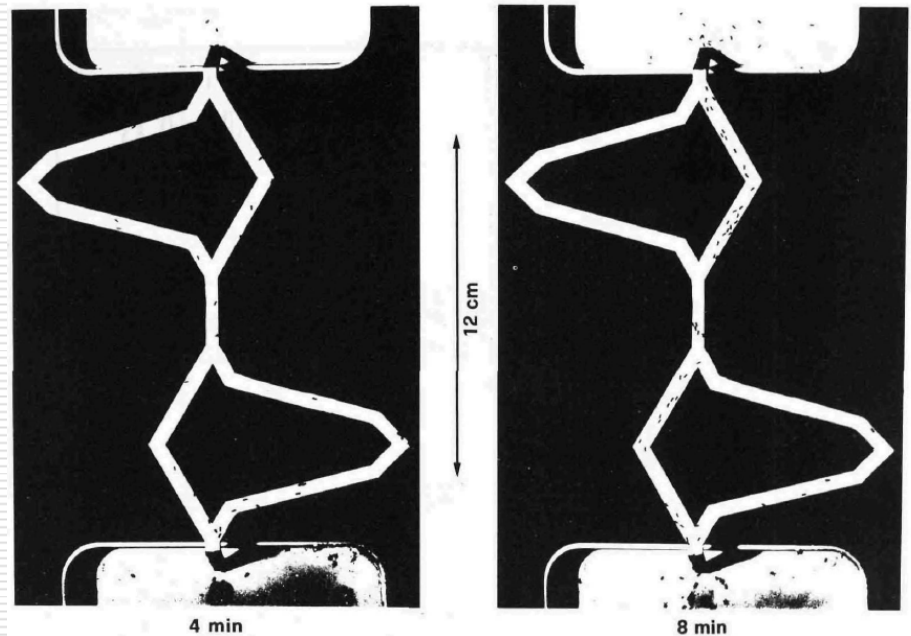


Fig. 6. — A colony of *Iridomyrmex humilis* selecting the short branches on a bridge between the nest and the foraging area (photos taken 4 and 8 min after the bridge was placed). (Reproduced from Goss et al. in press).

Оптимальны ли оптимальные решения?

- Однако, кратчайший путь – результат случайного выбора:
 - Муравьи оставляют запаховый след, привлекающий других муравьев
 - Короткий путь заполняется феромоном быстрее и привлекает больше муравьев, обеспечивая исходную большую привлекательность короткому пути
 - Автокаталитический процесс усиливает разницу и «определяет выбор» кратчайшего пути всеми муравьями

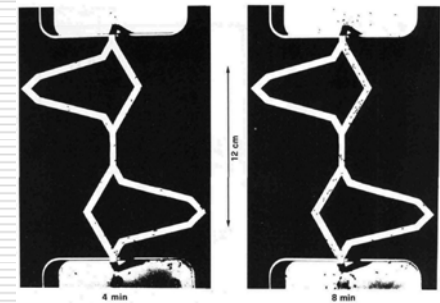
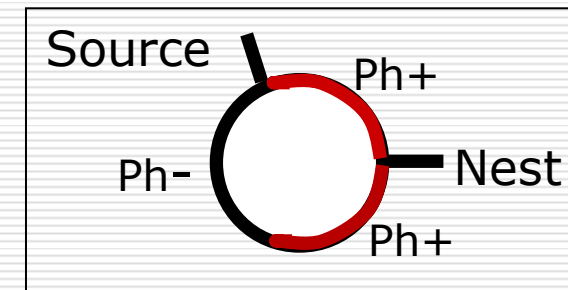


Fig. 6. — A colony of *Iridomyrmex humilis* selecting the short branches on a bridge between the nest and the foraging area (photos taken 4 and 8 min after the bridge was placed). (Reproduced from Goss et al. in press).



Оптимальны ли оптимальные решения?

□ Неоптимальный выбор как результат случайного автокаталитического процесса



Ethology Ecology & Evolution

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/teee20>

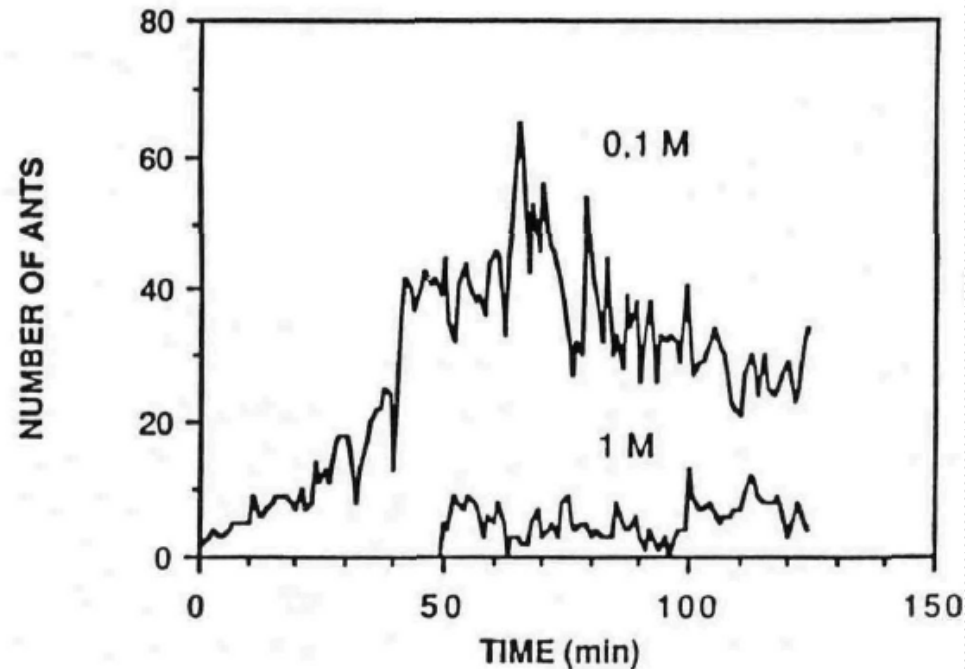
Collective patterns and decision-making

J.L. Deneubourg^a & S. Goss^a

^a Unit of Theoretical Behavioural Ecology, CP 231, Université Libre de Bruxelles, 1050, Bruxelles, Belgium

Version of record first published: 19 May 2010.

- Случайно исходно выбрав менее продуктивный источник корма, они продолжают его использовать, даже имея лучший выбор
- “Prisoners of the history”



Оптимальны ли оптимальные решения?

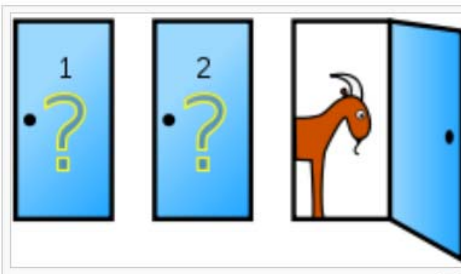
- ❑ Субоптимальный выбор в предсказуемой ситуации
- Голуби и люди: чьи решения оптимальнее?

Pigeons, Humans, and the Monty Hall Dilemma

Walter T. Herbranson
Whitman College

aps
ASSOCIATION FOR
PSYCHOLOGICAL SCIENCE

Current Directions in Psychological
Science
XX(X) 1–5
© The Author(s) 2012
Reprints and permission:
sagepub.com/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0963721412453585
<http://cdps.sagepub.com>
SAGE



Оптимальны ли оптимальные решения?

□ Голуби и люди: чьи решения оптимальнее?

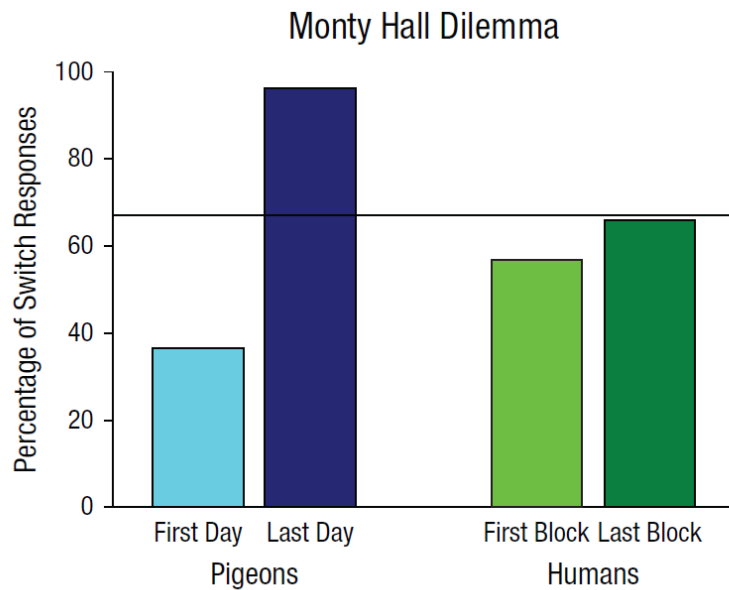


Fig. 2. Percentage of switch responses by pigeons and humans at the beginning and end of the experiment by Herbranson and Schroeder (2010). The line in the graph is at 67%, the probability of winning with a switch response. The optimal strategy is to switch on all trials.

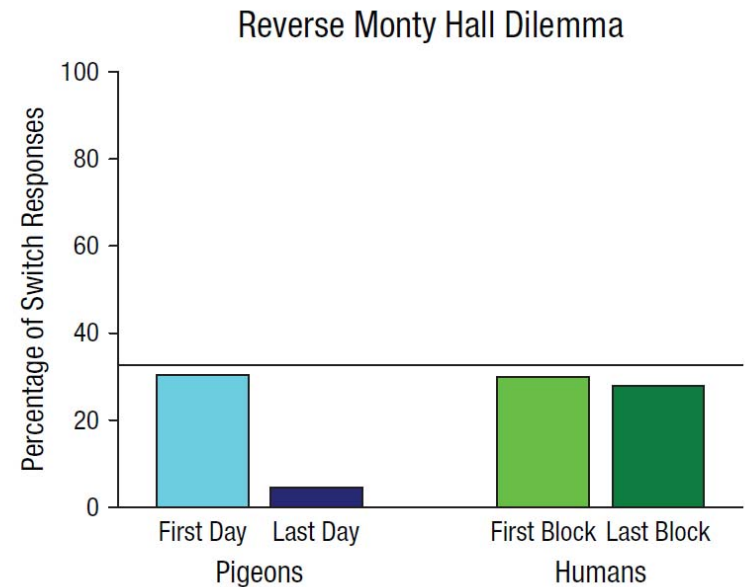


Fig. 3. Percentage of switch responses by pigeons and humans at the beginning and end of the experiment by Herbranson and Schroeder (2010). The line in the graph is at 33%, the probability of winning with a switch response. The optimal strategy is to stay on all trials.

Принятие коллективных решений

□ Демократия или Деспотия?

Table 1 Examples of democratic decisions in social animals

Decision	Species	Voting behaviour	Decision mechanism	N	Result
AC	Red deer (<i>Cervus elaphus</i>)	Standing up	Majority of adults decides	10	Group moves when mean 62% (s.d. 8%) of adults stand up*
AC	Gorilla (<i>Gorilla gorilla</i>)	Calling	Majority of adults decides	28	Group moves when median 65% (range 43–86%) of adults call ⁶



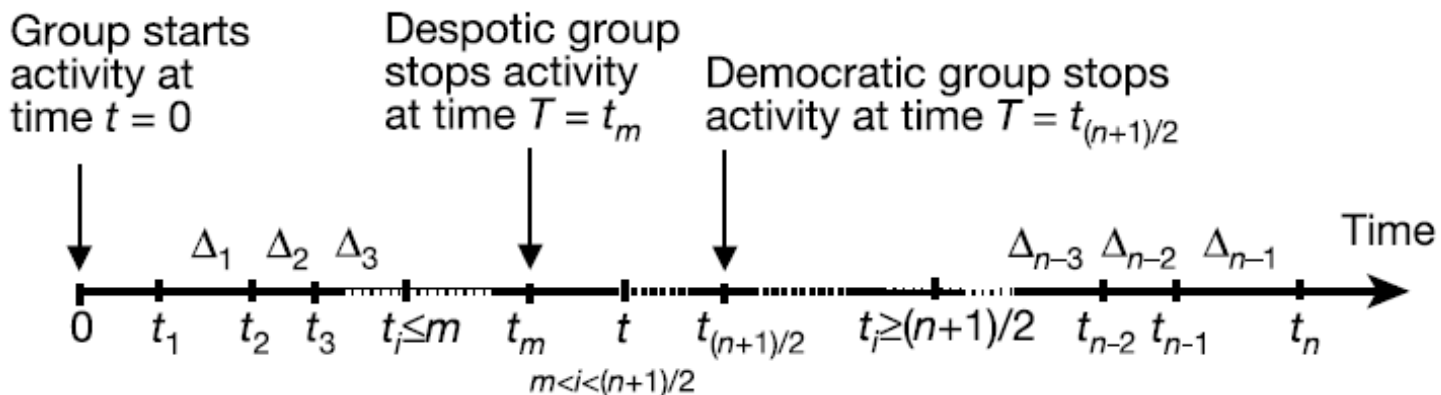
Nature



Принятие коллективных решений

□ Демократия или Деспотия?

- Плата каждого за коллективное решение [сменить активность] = разница между временем собственного оптимального решения и временем коллективного решения
- Модель сравнивает платы синхронизации в деспотических и демократических группах



Принятие коллективных решений

□ Демократия или Деспотия?

- Демократические решения всегда более «консервативны» (требуют большего времени)
 - Индивидуальные платы за синхронизацию и принятие коллективного решения при деспотии всегда выше, чем при демократии
 - Если плата за смену активности *выше*, чем за продолжение активности, требуется большее число «голосов», и решение принимается с меньшей вероятностью
-

Модели принятия оптимальных решений: Заключение

- Биологическая логика
 - Естественный отбор поддерживает поведение и решения, которые максимизирует приспособленность за счет баланса выигрышей и плат - "эволюционная экономика" (Joseph Schumpeter)
 - Преимущества
 - Понятные допущения
 - Тестируемые гипотезы
 - Новые гипотезы
 - Критика
 - Поведение далеко не оптимально
-

Спасибо!



*Животное внутри нас
≠
Внутри нас животное*

