

**АДАПТИРУЮЩАЯСЯ ОСОБЬ КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ:
ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ
(ПО МАТЕРИАЛАМ ТРОПЛЕНИЙ ЛЕСНОЙ КУНИЦЫ)**

Э. Д. ВЛАДИМИРОВА, Е. А. САВИНОВ*

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королева
(национальный исследовательский университет)»,
*ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет»,
г. Самара

Аннотация. Адаптивное взаимодействие зверей со средой обитания моделируется в виде агрегата, преобразующего внешнюю информацию в двигательные реакции особи и состоящего из двух вероятностных автоматов. Первый автомат соответствует воспринимающему, а второй – двигательному звену структуры, приспособливающейся к естественной среде обитания посредством адекватных поведенческих реакций. На примере лесной куницы рассмотрены особенности первого автомата, обеспечивающего избирательное восприятие образов среды обитания, которое может быть однотактным или двухтактным, то есть персонализированным с одного внешнего объекта на другой.

Ключевые слова: автомат стохастический, вероятностное пространство, восприятие, марковская цепь, объекты среды обитания, тропления следов жизнедеятельности.

Технический аналог сложных форм поведения представляет собой модель, содержащую а) набор жестких программ поведения; б) набор элементов памяти; в) устройство, выбирающее тот или иной «ответ» на внешнее воздействие; г) генератор случайных чисел [1]. Согласно современным представлениям такая модель не противоречит реальности, но имеет смысл говорить об активном выборе входной информации особью, мотивированной той или иной биологической потребностью [2–5]. В соответствии с опытом полевой работы и современными зоопсихологическими представлениями полагается, что животные способны узнавать объекты естественной среды обитания по ключевым структурам, формирующими врожденные и приобретенные гештальты [6–7]. Полагается, что использование животными для передвижения троп (и иных элементов биологического сигнального поля [9]), как одна из форм подражательного поведения, способствует применению особями информации, накопленной в ряду поколений [8–11].

Цель работы – уточнение экологически значимых особенностей первого блока модели адаптивного поведения, соответствующего афферентному звену

структуре, обеспечивающей целенаправленное поведение. При этом слагаемые модели соответствуют феноменам, наблюдавшимся по следам зверей в ходе зимних троплений [10–12]. Каталог биологически значимых составляющих такой модели дает возможность однозначно «от цифровывать» материалы полевых наблюдений для их дальнейшего анализа (что соответствует экологическим задачам работы) [10], а сама модель – исследовать факторы, управляющие поведением (кибернетические задачи) [13–14]. Актуальные для кибернетики проблемы классификации внешних объектов и переориентация внимания при их восприятии (в частности, поставленные М. М. Бонгардом с соавторами [15]), в данной работе решаются с экологических позиций, на основании тождества способов использования объектов и адаптивной значимости (у М. М. Бонгарда [15] – «ценности») того класса объектов, на который переносится внимание. Также полагается, что смысловое содержание полученной информации оказывает влияние на особенности ее восприятия [2, 4, 9]. Данное утверждение, разделяемое авторами, определяет экологическое содержание статьи.

Материалы и методы

Хищные млекопитающие средней полосы России, активные в зимний период года (обыкновенная лисица, лесная куница, горностай, ласка и др.), используют сведения о ресурсах и условиях биотопов обитания в ходе приспособительного поведения. Одновременно, в виде следов жизнедеятельности, животные продуцируют информацию о процессе собственной адаптации, доступную для исследования.

Унифицируя материалы зимних троплений в соответствии с дискретными параметрами взаимодействия зверей и среды обитания, особенности приспособительного поведения можно выразить в математической форме [5]. Принципы построения и ограничения модели информационного взаимодействия особи и среды, предложенной ранее [5] и уточненной в данной статье, определены методом получения эмпирического материала [12]. В формализованных протоколах полевых наблюдений отражаются следующие сведения:

1) функциональные формы активности зверей, оставивших следы жизнедеятельности (g_w);

2) двигательные реакции, имеющие приспособительное значение (унитарные реакции – s_m), а также их составляющие, различные по «рисунку» отпечатков на заснеженном грунте (элементарные реакции – y_h);

3) объекты среды обитания, с которыми, судя по следам и проявленным унитарным реакциям, животные взаимодействовали. Объекты относятся к тому или иному классу x , на основании идентичности реакций, генерированных при их восприятии [5]. Формализованные списки классов реакций и классов объектов, видоспецифических для зимней активности лесной куницы, опубликованы [9, 16].

Сбор полевого материала по экологии и этологии лесной куницы (*Martes martes* L.) проводили методом зимних троплений в 1993–2013 гг., в пойменных биоценозах Самарской, Пензенской и Саратовской областей (поймы рек Волга, Самара, Кондурча, Кобельма, Кадада, Б. Иргиз). Исследовано около 150 км следов лесной куницы. Детально, то есть с определением числа и качества объектов и «ответных» реакций, проанализировано 84 000 м следов, из них: 29 200 м следов, генерированных куницами в среде с умерен-

ным и низким уровнем антропогенной трансформации, и 54 800 м – с высоким (местами – умеренным). Кормопоисковой активности куниц соответствовало 40 000 м следов: в биотопах с умеренной и низкой трансформацией природной среды – 14 400 м (36 четырехсантиметровых дистанций), в значительно трансформированных людьми биотопах – 26 000 м (65 дистанций). В процессе генерации следов куницами было воспринято 6 489 объектах разных классов, инициировавших различные двигательные и экскреторные реакции после их восприятия за один такт (с градацией по уровню трансформации биотопов – 2 193 и 4 296 объектов). На 726 объектах куницы проявили реакции, отнесенные к разновидности «начатая, но не завершенная особью попытка передвижения по грунту» (239 и 487 объектов). Реакции этой разновидности, сопровождающие процесс ступенчатого восприятия объектов внешней среды, были исследованы для определения статистических закономерностей перехода восприятия куниц от одного класса объектов к другому.

Разнообразие типичных классов объектов идеализированного представителя какого-либо вида животных характеризует особенности его умельта (*Umwelt*) – набора значимых объектов обычной среды обитания [17]. Чтобы исключить влияние специфических особенностей того или иного биотопа на процесс формализации видоспецифического для лесной куницы набора классов объектов, число классов объектов, отреагированных животными, рассчитывалось на 400 м следов. При кормопоисковой активности в пройменных биотопах число типичных классов объектов в среднем составило 20,3 (N 87, *Med.* 20, *StDv* 4,1, *Min* 11, *Max* 33, *Disp.* 17,4), что согласуется с ранее опубликованными сведениями [10].

В засушливой лесостепи выживание лесной куницы определяется следующими факторами:

1) наличие древесной растительности, желательно – в форме пойменного леса;

2) хорошее состояние кормовой базы;

3) невысокий уровень антропогенной трансформации биотопов обитания, в частности, малое число объектов антропогенной природы, тревожащих зверей [18–19]. Вышенназванные факторы выживания лесных куниц были актуальны в биотопах исследования. Численность куниц не была высо-

кой, составляя от 0,3 до 3 особей на 1000 га. Воспринимая природные объекты и реагируя на них по факту восприятия, примерно в 11% случаев куницы проявляют реакции, отнесенные к разновидности «начатая, но незавершенная попытка передвижения по грунту» («попытка передвижения») [5]. Отпечатки подобных реакций в составе следовой дорожки указывают на процесс переноса внимания животного с одного объекта на другой при их последовательном восприятии. (В соответствии с этологической методологией, психические процессы изучаются на основании исследования поведенческих реакций животных) [4]. Динамика намерений куниц реагировать на те или иные объекты была исследована в отношении 20 основных классов объектов видоспецифического умельта лесной куницы. Физиологи для этих же целей могли бы регистрировать вызванные потенциалы клеток коры головного мозга или исследовать работу шейной и глазодвигательной мускулатуры. С целью анализа силы и направления корреляционной связи между частотами классов объектов, определенных для разных выборок, с помощью программы STATISTICA-6 определялись коэффициенты корреляции r Пирсона и ранговые корреляции R Спирмена [20].

Модель информационных отношений зверей с объектами среды обитания

1. Формальное описание информационного взаимодействия животных с объектами внешней среды, соответствующее методу зимних троплений

В эколого-зоопсихологическом контексте данной статьи под информацией понимаются сведения о характеристиках естественных местообитаний, полученных животными

в ходе их двигательного взаимодействия с внешней средой. Жизнедеятельность особи, проявляющей приспособительное поведение в природных условиях, моделируется в виде агрегата A , состоящего из двух вероятностных автоматов, A_1 и A_2 . В соответствии с заданными условиями функционирования q_w работа агрегата заключается в следующих процессах:

1) вероятностный автомат A_1 дифференцирует внешние сведения, генерируя на выходе одну дискретную единицу информации x_i за один такт работы;

2) структурный вероятностный автомат A_2 , состоящий из k элементарных автоматов, на выходе k раз формирует элементарные поведенческие реакции y_h . Это происходит в соответствии с информационной единицей x_p , отобранный автоматом A_1 , k раз поступившей на вход структурного автомата A_2 и столько же раз инициировавшей переходы внутренних состояний его слагаемых – элементарных автоматов (рис. 1). Состояниями элементарных автоматов, входящих в состав структурного автомата A_2 , являются унитарные реакции s_m . Формально имеется конечное множество выходных сигналов первого автомата $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$, которые поступают на вход второго автомата в составе различных входных последовательностей. Каждая единица информации x_p , поданная k раз на вход второго блока модели – структурного автомата A_2 (структурный автомат состоит из k элементарных автоматов), столько же раз порождает переходы его внутренних состояний s_m в соответствии с функцией перехода $\delta_2(s, x)$, а также формируя выходы второго автомата y_h , принадлежащие множеству $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_r\}$, в соответствии с функцией формирования выхода $\lambda_2(s, x)$. Внутренние состояния второго автомата s_m принадлежат множеству $S = \{s_1, s_2, \dots, s_u\}$.

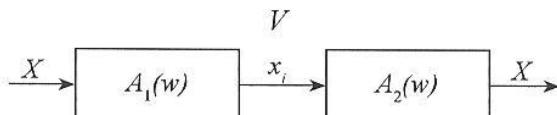


Рисунок 1. Модель информационного взаимодействия особи млекопитающих со средой обитания: V – внешняя среда;

X – входной алфавит, или множество классов объектов среды обитания;

A_1 – вероятностный автомат, осуществляющий отбор класса объекта из множества X ;

x_i – результат работы автомата A_1 ; A_2 – структурный автомат, k раз продуцирующий

выходные реакции в соответствии с поступившей информацией и внутренним состоянием; Y – выходной алфавит, или множество элементарных двигательных реакций;

w – разновидность функциональной формы активности ([5], с изменениями)

Эмпирические данные об условиях местообитания и информационном поведении особи, на основе которых строится модель, имеют форму полевых материалов, полученных методом зимних троплений. «Информационное поведение» – это приобретение и обновление адаптивного опыта взаимодействия особи со средой обитания, результаты которого запоминаются как информация о среде обитания. Обработанные полевые материалы организованы как последовательности различных функциональных форм поведенческой активности особи g_w , для которых выявлены кортежи воспринятых классов объектов и унитарных реакций, проявленных при их восприятии. Из полевых материалов известны количественные ограничения числа и разнообразия этих параметров. (Полевые данные представляют собой часть содержательной составляющей модели выбора и преобразования информации животными. Обычно они отражают особенности одной или нескольких суточных активностей.) Структура g_w соответствует условиям функционирования агрегата A , определяющим закономерности отбора внешней информации, переходов внутренних состояний и формирования выходных реакций. К условиям функционирования агрегата в наиболее простом варианте модели относится разновидность функциональной формы активности, поскольку моделируются не пассивные ответные реакции организма на то или иное внешнее воздействие, а активное целенаправленное поведение [25]. Форма функциональной активности g_w (от англ. слов «цель» и «ожидание») отражает адаптивное значение жизнедеятельности [24].

В структурном отношении, поведенческая активность, отнесенная к той или иной функциональной форме, состоит из более мелких единиц поведения: ситуативно обусловленных единиц поведения, унитарных реакций и элементарных двигательных реакций [9]. Одна ситуативная единица поведения представлена из одной или нескольких унитарных реакций (принадлежащих множеству S_2), ассоциированных с каким-либо одним классом объектов внешней среды x_i , воспринятым k раз, инициировавшим при его восприятии двигательный «ответ» особи, представленный k раз элементами вида y_h . Унитарные реакции s_m , которые также в данной модели являются внутренними состояниями второго автомата,

слагаются из элементарных двигательных реакций y_h , соответствующих выходам автомата A_2 . Унитарные реакции направлены на выполнение какой-либо жизненной функции (перемещение, поедание корма, маркировка), актуальной на момент времени t . Эти функции изменяются по мере передвижения особи в биотопе и по мере восприятия новых объектов [16].

К примеру, в поведении лесной куницы, исследованном методом троплений, выделены следующие функциональные формы поведенческой активности g_w : 1) кормовой поиск; 2) переход на другой кормовой участок; 3) перемещение на дневную лежку (на «дневку»), включая отдых на лежке; 4) выход с лежки; 5) обход индивидуального участка; 6) переход самца к месту обитания самки (и наоборот); 7) миграция [16]. Кормовой поиск, который является ключевой для адаптации формой активности g_1 , состоит из последовательности кормоисковых и кормовых реакций $\{s_3, s_4\}$, перемежающихся с перемещениями особи от одного участка обитания мышевидных грызунов к другому и ориентировками $\{s_1, s_2\}$. Для каждой функциональной формы активности описаны классы воспринятых объектов и унитарные реакции [16]. Диагностическим признаком той или иной формы активности являются типичные для нее кортежи вида (x, s_m) , состоящие из классов объектов и соответствующих им унитарных реакций.

2. Формальное описание стохастического автомата A_1

Опишем работу автомата A_1 , осуществляющего вероятностный выбор класса объектов внешней среды из классов объектов, встреченных особью в некоторый дискретный момент времени. Воспользуемся следующими обозначениями. Множество классов объектов, которые могут быть встречены вытрапливаемой особью в биотопе обитания (и распознаны в этом качестве в соответствии с видоспецифическими закономерностями восприятия), обозначено выше через $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$, $l \in N$. Множество классов объектов, практически встреченных в дискретные моменты времени $t = 1, 2, \dots$, обозначим $X_t \subseteq X$; множество функциональных форм активности, определяющих возможные мотивационные состояния и, следовательно, цели (*goal*) особи, поведение которой изучается по

следам, обозначим $G = \{g_1, g_2, \dots, g_l\}$.

На вход автомат получает информацию о том, объекты каких классов встречены особью в рассматриваемый момент времени. При этом начальное состояние автомата определяется безусловными вероятностями реагирования на эти классы. Указанные вероятности реагирования для каждого класса объектов зависят от важной характеристики внутреннего состояния особи – параметра w ($w = 1, 2, \dots, 7$), где g_w – текущая функциональная форма активности. Считаем, что эти априорные вероятности выражают намерение особи отреагировать на объект того или иного класса в данный момент под воздействием текущего внутреннего состояния.

Формализуем сказанное выше. Будем рассматривать конечное вероятностное пространство $(X, 2^X, P)$, где 2^X – класс всех подмножеств X , а мера P задана вектором размерности l :

$$q = (q_1, q_2, \dots, q_l), q_i \in [0, 1], i = \overline{1, l}.$$

Здесь q_i – априорная безусловная вероятность реакции на объект класса x_i , т. е., $P(\{x_i\}) = q_i$. Оценки этих вероятностей могут быть получены из опыта посредством статистического анализа данных. Поскольку эти вероятности зависят от функциональной формы поведения, то $q = q(w)$ и:

$$q(w) = (q_1(w), q_2(w), \dots, q_l(w)). \quad (1)$$

Подчеркнем, что этот набор вероятностей и задает начальное состояние автомата. Соответствующую меру далее будем обозначать P_w .

В качестве входа автомата A_1 рассматриваем множество X_p в соответствие ему ставим вектор условных вероятностей:

$$q^0(w; t) = (q_1^0(w; t), q_2^0(w; t), \dots, q_l^0(w; t)),$$

$$q_i^0(w; t) = P_w(\{x_i\} | X_p).$$

Таким образом, вероятности $q(w)$ пропорционально перераспределяются между фактически встреченными объектами. Здесь X_p , являясь множеством классов объектов, встреченных вытрапливаемой особью в момент t , может трактоваться как событие, состоящее в том, что особь реагирует только на объект одного из встреченных классов. Указанное преобразование вероятностей определяет функцию переходов δ_1 .

Выбранным особью случайнм классом объектов является элементарный исход модели $(X_p, 2^{X_p}, P_w(\cdot | X_p))$. Этот исход и является значением случайной функции выходов λ_1 .

Таким образом, автомат A_1 задается параметрами $(S_1, 2^X, X, \delta, \lambda)$, где S_1 конечное подмножество

$$S_1 = \{q \in R^l : q \geq 0, \|q\|_1 = 1\},$$

$$\delta : (q(w), X_p) \rightarrow q^0(w; t),$$

$$\lambda : q^0(w; t) \rightarrow x_i.$$

3. Формальное описание работы вероятностного автомата A_2

Автомат A_2 переходит в следующее внутреннее состояние после восприятия объекта среды определенного класса, одновременно продуцируя выходные реакции, которые могут быть распознаны исследователем по отпечаткам следов, сохраняющимся в природных биотопах некоторое время после реализации жизнедеятельности. Двигательная переработка особью дискретной информации, поступающей из внешней среды, может быть formalизована с помощью «канонических» [13, с. 22] уравнений:

$$s(t+1) = \delta_2(s(t), s(t+1)), \quad (2)$$

$$y(t) = \lambda_2(s(t)). \quad (3)$$

Экологическая задача, решаемая с помощью данного формализма, в наиболее общем виде, состоит в определении внутренних состояний автомата, как объекта, который характеризуется своей способностью воспринимать конечное число сигналов и, в зависимости от них, изменять собственное внутреннее состояние [13, 14]. Внутренним состояниям автомата A_2 поставлены в соответствие унитарные реакции особи – поведенческие реакции небольшой временной протяженности, состоящие из нескольких элементарных реакций (иногда – одной), выполняющие какую-либо определенную функцию (такую, к примеру, как перемещение в пространстве, поиск грызунов, ориентировка, маркировка, избежание опасности). Внутренние состояния автомата определяются в результате анализа воспринятых классов объектов и произведенных автомата элементарных двигательных реакций (известно их конечное число, характерное для данного вида животных); внутреннее состояние автомата определяет выбор автомата действия.

Множества, составленные из кортежей вида (x_i, s_m) , продуцируемых животными в данном биотопе при данной функциональной форме активности, представляют собой наборы единиц полезной (адаптивной) информации, обеспечивающие выживание популяции, поскольку элементы подобной информации сохраняются некоторое время в среде обитания и передаются в ряду поколений. При дальнейшем исследовании процессов поведенческой адаптации зверей в природных условиях классам объектов и унитарным реакциям, входящим в такие множества, есть смысл присваивать весовые коэффициенты.

4. Усложнение первого блока модели

Первоначальное намерение особи реагировать на объект определенного класса может подвергаться одношаговому изменению, что представляет собой процесс выбора класса объекта взаимодействия, сопровождающийся переносом внимания. Естественными причинами данного феномена могут выступать внутренние или внешние (по отношению к особи) факторы, такие, как поведенческие стереотипы реагирования, сложившиеся у данной особи, постепенное насыщение текущей мотивации, условия биотопа (наклон грунта, освещение, осадки, порывы ветра, запахи, звуки), тревога и т. д.

Итак, полагаем, что намерения, выраженные вектором $q^0(w; t)$, подвергаются одношаговому изменению. Это изменение определяется матрицей переходов, зависящей также от w :

$$A_w = \{q_{ij}(w)\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, l, \quad \sum_{i=1}^l q_{i,j}(w) = 1, \quad (4)$$

где $q_{ij}(w)$ вероятность перехода намерения, а именно вероятность реагирования (переноса внимания) на объект класса x_j при условии, что первоначальное намерение было направлено на объект класса x_i .

Необходимо отметить, что матрица (4), как и вектор (1), может быть найдена исходя из опытных данных и относится к общим параметрам модели. В каждый же конкретный момент времени t на ее основе строится матрица $A_{w,t} = (q_{ij}(w; t))$ по следующему правилу:

$$q_{ij}(w; t) = \frac{q_{ij}(w) \delta_{q_i^0(w; t)}}{\sum_{i=1}^l q_{ij}(w) \delta_{q_i^0(w; t)}}, \quad \text{где } \delta_x = I\{x > 0\}.$$

Таким образом, подобно тому, как в момент времени t преобразование $q_w \rightarrow q^0(w; t)$ формализует невозможность первоначального намерения выбрать объект, не встреченный особью, также и преобразование $A_w \rightarrow A_{w,t}$ формализует невозможность переноса внимания на не встреченный объект. С помощью матрицы $A_{w,t}$ мы получаем новый вектор намерений:

$$q^1(w; t) = A_{w,t} q^0(w; t).$$

Меру $P_{w,t}(X_t)$, определенную набором вероятностей $q^0(w; t)$, естественно обозначать через $P^0(w; t)$, а новую меру, определяемую набором вероятностей $q^1(w; t)$, — через $P^1(w; t)$.

Итогом работы вероятностного автомата A_1 в рамках этой (усложненной) модели будет элементарный исход вероятностного пространства $(X_p, 2^{X_t}, P_{w,t}^1)$. В рамках новой модели определены новые функции переходов и выходов автомата A_1 :

$$\begin{aligned} \delta_1 : (q(w), X_p) &\rightarrow q^1(w; t), \\ \lambda_1 : q^1(w; t) &\rightarrow x_i. \end{aligned}$$

Двигаясь далее по пути усложнения модели, можно процесс переноса внимания представить не одношаговым, а состоящим из бесконечного количества шагов, реализуемых тем не менее за конечное физическое время (t и X_t , здесь по-прежнему считаются фиксированными, меняется лишь суть работы автомата A_1 в момент t). Тогда, при наложении некоторых дополнительных условий на матрицу A_w (или при опытном установлении этих условий) в силу эргодической теоремы для марковских цепей будет существовать некоторое предельное (являющееся также стационарным) состояние намерений:

$$q^0(w; t), \quad (5)$$

которое можно трактовать как истинное, зафиксированное намерение (при текущей функциональной форме активности q_w в данный момент времени t). При этом указанная зафиксированность не изменяет стохастического характера выбора: все так же в качестве результата работы автомата мы имеем элементарный случайный исход, но уже в пространстве $(X_p, 2^{X_t}, P_{w,t}^0)$. Добавим, что не исключен также случай, когда предельное/стационарное распределение (5) существует и имеет вид $(0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$; в этом случае вероятностный автомат выдаст детерминированный результат.

Таким образом, на основании феноменов, наблюдаемых в ходе троплений, предложена модель адаптирующейся особи как

агрегата, последовательно выполняющего функции избирателя и преобразователя полезной информации (рис. 2).

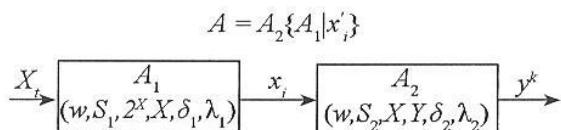


Рисунок 2. Структура агрегата A , обеспечивающего информационное взаимодействие особи и среды обитания:

A_1 – первый блок агрегата, определяющий класс объекта избирательного внимания;

X_i – «вход» первого блока, или совокупность классов объектов, попавших в сферу рецепции особи за один такт работы агрегата; x_i – «выход» первого блока, или объект определенного класса, который одновременно является «входом» второго блока;

A_2 – второй блок, преобразующий информацию

(здесь он условно представлен одним ($k = 1$) элементарным автоматом);

y^k – «выход» второго блока, или элементарная двигательная реакция;

x'_i – психический образ объекта информационного взаимодействия.

В прямоугольниках, обозначающих первый и второй блоки, структуры автоматов в общем виде приведены в скобках

5. Восприятие образов внешней среды и их экологическое значение

На материале троплений лесных куниц исследовали иерархию частот восприятий объектов разных классов, имеющихся в среде обитания. Также, в соответствии с усложнением первого блока модели (см. выше), изучали особенности переориентированных восприятий, при которых происходит двухтактный или множественный перенос внимания особи с одного внешнего объекта на другой. О восприятии куницей внешнего объекта судили по ответной двигательной реакции [19]. Около 94–98% реакций (состояний автомата A_2) куницы, разыскивающие корм, генерировали при восприятии 20 основных классов объектов, formalизованных в данной модели как x , $x \in \{x_1, x_2, \dots, x_{20}\}$ (табл. 1).

Для выявления возможной корреляционной связи, частоты восприятий классов объектов, данные представлены в столбцах A – G (табл. 1), были ранжированы и исследованы в программе STATISTICA-6 с применением кросstabуляций [20]. В иерархиях восприятий классов объектов, рассчитанных для выборки в целом (G), а также для выборок из сред, отличающихся по уровню антропогенной трансформации (C и F), обнаружена высокая степень согласованности – множественная корреляция (табл. 2). Независимо от уровня трансформации среды и способа восприятия,

однотактного или двухтактного, деревья в иерархии восприятий лесной куницы занимают ведущее место: четверть всех поведенческих реакций ассоциирована с восприятием этого класса объектов. Часто куницы воспринимают растительные объекты (места обитания мышевидных грызунов), следы куниц (включая собственные) и следы лисиц, а также поляны, по которым они переходят к другим кормовым участкам. В отношении выборок из сред, отличающихся по степени трансформации (F и C), выявлены достоверные парные различия частот восприятий трех классов объектов – «свой след этого тропления», «следы лисиц» и «прочие объекты». Различия объясняются высокой численностью лисиц в трансформированных людьми биотопах; кроме того, здесь чаще встречаются объекты, не входящие в перечень видоспецифических. (Подобные биотопы были локализованы в окрестностях г. Самары. В них сложились благоприятные для лисиц кормовые и защитные условия.)

Животные стремятся уйти от опасности и получить корм наиболее простым и быстрым способом. Сведения о потенциальной безопасности и высокой кормности местообитаний вызывают у них положительные эмоции [4]. Тревога возникает при отсутствии информации о средствах, необходимых для удовлетворения актуальных потребностей. В состоянии тревожной неопределенности у зверей

повышается число двигательных реакций, двухтактные восприятия чаще наблюдаются в среде, трансформированной антропогенным фактором, что объясняется тревожным эмоциональным состоянием особей (рис. 3) [10].

Восприятие – процесс, включающий смысловую категоризацию полученной информации, причем внимание, влияющее на ее переработку и запоминание, включается

не сразу, а на стадии активации опознаваемой информационной единицы [21]. В отношении объектов, воспринятых пошагово с переносом внимания, было выявлено, что наименьшее абсолютное количество двухтактных восприятий, независимо от типа биотопа, вызывают у куниц пищевые объекты (9 строк таблицы, столбцы *B* и *E*), а также следы конспецификов, оставленные ранее (табл. 1).

Таблица 1 – Особенности восприятия куницами средовых объектов различных классов, инициировавших «ответные» реакции животных (кормопоисковая активность)

Класс объектов	Частота восприятий объектов данного класса, %						Вся выборка, без учета антр. фактора и типа восприятия (G)	
	Уровень антропогенного фактора							
	Низкий и умеренный			Высокий				
	Одно-тактное восприятие (A)	Двухтактное восприятие (B)	Вся выборка (C)	Одно-тактное восприятие (D)	Двухтактное восприятие (E)	Вся выборка (F)		
1. Дерево	25,5	25,8	25,5	22,8	22,4	22,8	23,7	
2. Куст	10,3	6,2	9,9	13,1	7,5	12,5	11,6	
3. Захламленные заросли кустов	8,6	5,4	8,3	9,6	5,9	9,2	8,9	
4. Валежник	7,7	4,5	7,4	8,6	5,0	8,2	7,9	
5. Свои следы этого тропления	6,6	9,1	6,9	3,3	8,0	3,8	4,9	
6. Следы конспецификов	4,7	0	4,2	5,6	0	5,0	4,7	
7. Пенек	3,6	3,1	3,5	4,5	3,5	4,4	4,1	
8. Свежая лыжня	3,5	2,4	3,4	3,8	2,3	3,6	3,5	
9. Следы мышевидных и их запах из-под снега	3,4	0,4	3,1	2,7	0,6	2,5	2,7	
10. Поляна, граничащая с лесопокрытой стацией	3,3	7,5	3,8	2,6	4,6	2,8	3,1	
11. Следы лисиц	2,7	3,1	2,7	5,8	3,4	5,5	4,6	
12. Снежный бугорок	2,5	3,3	2,6	2,2	4,2	2,4	2,5	
13. Старая лыжня	2,5	3,3	2,6	2,1	3,4	2,2	2,4	
14. Ветка, палка	2,4	1,5	2,3	1,8	1,9	1,8	2,0	
15. Элементы рельефа	2,4	5,0	2,7	1,4	4,6	1,8	2,1	
16. Пучок древесного подроста	2,3	4,1	2,5	1,6	4,9	2,0	2,2	
17. Наброды сорок	2,0	1,3	1,9	1,4	1,5	1,4	1,6	
18. Следы зайцев-белляков	1,8	1,5	1,8	0,8	1,1	0,8	1,1	
19. Бурьян	1,0	1,0	1,0	0,6	1,5	0,7	0,8	
20. Следы воробьиных птиц	0,7	0,3	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	
21. Прочие объекты	2,5	11,2	3,4	5,1	13,3	6,0	5,2	
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

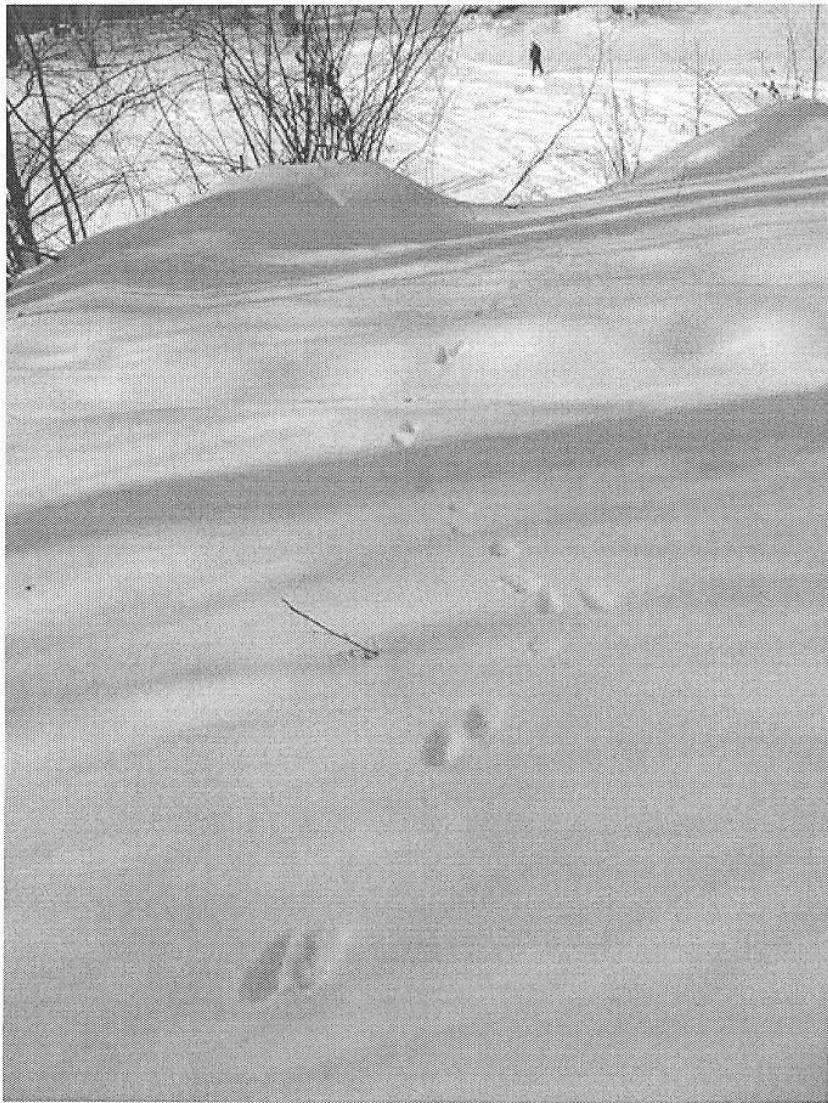


Рисунок 3. Следовая дорожка куницы обыкновенной в среде обитания, значительно трансформированной деятельностью людей. Общее направление движения зверька – от верхней части фотографии к нижней. Можно видеть следы от незавершенной попытки передвижения в левую сторону (ориентация сторон – по ходу локомоции особи), которая сменилась переориентацией направо и продолжением движения особи в первоначальном направлении. Рождественская пойма р. Волги, 28 февраля 2010 г.

Данный факт косвенно свидетельствует о том, что восприятия этих классов объектов сопровождаются высокими показателями внимания, в связи с чем информация о подобных объектах запоминается лучше. Сведения о пищевых объектах и присутствии конкурентов и половых партнеров важны для выживания и размножения. Восприятие пищевых объектов, а также следов конспецификов при умеренной численности популяции не вызывает у куниц тревоги. По-видимому, эти классы объектов, будучи воспринятыми, сразу опознаются и подвергаются двигательной интер-

претации; при их восприятии внимание не переносится, а фиксируется. Возможно, гипотетические нейронные сети, преднастроенные на отличительные признаки данных классов объектов [22], быстро выявляют визуальные и/или ольфакторные конфигурации, характерные для них. Восприятие внешней информации не сдвигается на другие классы объектов, а формирует психический образ x_i , воспринятого первоначально, который откладывается в памяти особи как опыт взаимодействия со средой обитания. Что касается следов конспецификов, то феномен их однотактного воспри-

ятия подтверждает управляющую функцию биологического поля [11].

Выявлены отличия частот восприятий некоторых классов объектов, ассоциированные со способом восприятия. В связи с влиянием «следов лисиц» и «прочих объектов» на иерархию значений частот восприятий для

пар выборок, отличающихся по уровню антропогенной трансформации среды (*A* и *B*, *D* и *E*), проведены отдельные исследования. В отношении групповых иерархий выявлена высокая ранговая корреляция, главным образом, за счет наиболее и наименее часто встречающихся классов объектов (табл. 2).

Таблица 2. Оценка корреляций некоторых групп переменных, представленных в таблице 1

Статистика	Хи-квадрат	Степень связи	p
<i>C</i> (21) × <i>G</i> (21), <i>F</i> (21) × <i>G</i> (21), <i>C</i> (21) × <i>F</i> (21)			
Хи-квадрат Пирсона	420,0000	cc = 400,0	p = 0,2365
МП Хи-квадрат*	127,8699	cc = 400,0	p = 1,0000
<i>D</i> (21) × <i>E</i> (21)			
Хи-квадрат Пирсона	399,0000	cc = 380	p = 0,2418
МП Хи-квадрат*	125,0974	cc = 380	p = 1,0000

* Оценка максимального правдоподобия.

При двухтактных восприятиях, в сравнении с однотактными, ранги собственных следов, а также объектов, специфических для данных биотопов и ориентировочных, в обоих типах сред повышены. При передвижении по участку куницы ориентируются, в частности, на собственные следы данного тропления, а при переходах к другим кормовым участкам – на удаленные объекты [23]. Специфические для биотопа объекты, не входящие во множество 20 основных классов, такие, к примеру, как следы норки и копытных животных, следы рыбаков, костища, тропы землероек, имеют ситуативное значение. Можно предположить, что их восприятие обеспечивается не врожденными гештальтами, а приобретенными [26]. По-видимому, ресурс внимания особи лесной куницы, обладающей малым по объему головным мозгом, экономится при их восприятии.

Что касается свежих собственных следов (*self-movement or idiothetic cues*), а также элементов рельефа, полян, расположенных на границах лесопокрытых кормопоисковых («жировочных») стаций и пучков молодых деревьев (*allothetic cues to locate place in space*), то известно, что восприятие подобных ориентировочных объектов вызывает активацию гиппокампа [27, с. 49]. По-видимому, перенос внимания связан с навигацией особи на тро-

пе и ее попытками перемещения к другому кормовому участку. Последние периодически возникают при кормопоисковой активности, но подавляются до тех пор, пока у особи сохраняется мотивация к поиску пищевых объектов.

В отношении направления переноса внимания с объекта на объект, характерного для двухтактного восприятия, выявлены следующие закономерности. Для всех разновидностей x_j переходы вида $x_j \rightarrow x_i$ наблюдалась преимущественно в направлении класса объектов «дерево» (при условии, что переход восприятия и перенос внимания с данного класса объектов вообще наблюдается в поведении лесных куниц). Что касается объектов классов «следы конспецификов» и «следы мышевидных» ($j = 6$ и $j = 9$), то, в случаях их двухтактного восприятия переходов восприятия на другой объект не наблюдалось, и внимание особи вновь направлялось на этот же объект (единичные случаи на выборку). Вероятности перехода восприятия куниц на деревья варьировали от 0,17 (x_j – «свежая лыжня») до 0,5 (x_i – «элементы рельефа», «бурьян», «следы воробышных»). Вероятностная матрица была построена на основании анализа 726 двухтактных восприятий лесными куницами объектов среды обитания (рис. 4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	.29	.25	.26	.31	.27		.30	.17		.28	.32	.46	.23	.20	.50	.23	.25	.34	.50	.50	.22	
2	.10	.15	.13	.07	.17		.14			.08	.26	.09	.22		.20	.08	.25			.25	.10	
3	.13	.10	.07		.05			.17		.08	.07										.08	
4	.08	.04	.13	.13	.26							.09						.33				
5	.05	.04	.13	.07	.05			.16		.08	.07		.11	.20		.08		.11			.06	
6			.13		.05	1						.09						.22			.03	
7	.03	.10		.07				.17		.08	.07				.10	.15						
8	.03	.04										.09			.05							
9	.02				.05										.05						.03	
10	.02	.04	.07							.08								.25			.03	
11	.03							.17		.08	.07		.11									
12	.03		.07									.09		.20								.03
13	.07	.04					.14									.05					.03	
14			.07											.20	.05	.08					.06	
15	.03																					
16	.03				.05		.14			.08	.07			.20		.08		.25			.08	
17								.08									.15				.03	
18	.02		.07				.14	.08		.08									.25			
19	.02	.10												.11								
20													.11							.25	.03	
21	.02	.10			.05		.14			.08	.07	.09	.11			.15	.25				.19	

Рисунок 4. Матрица переходных вероятностей двухтактного варианта автомата A_1 , работающего при условии g_1 (коромоисковая активность куниц, имевшая место во всех исследованных биотопах, независимо от степени их антропогенной трансформации).

Приведены иенуловые значения элементов матрицы. Столбцы матрицы по правилу $x_j \rightarrow x_i$ соответствуют первоначально воспринятым объектам, строки – объектам, на которые переносится внимание особи (табл. 1)

Заключение

Таким образом, были исследованы реакции куниц, сопровождающие пересориентации восприятия и относящиеся к разновидности «незавершенная попытка передвижения», на участках, отличающихся интенсивностью антропогенной трансформации. В иерархиях воспринятых классов объектов выявлены отличия, связанные со способом их восприятия, однотактного или двухтактного. Наименьшее число двухтактных восприятий вызывают следы других куниц, оставленные ранее, а также пищевые объекты, наибольшее – деревья. Со всех классов объектов переориентация восприятия также чаще всего происходит на деревья.

В 69 случаях из 726 двухтактных восприятий последующая двигательная реакция

также относилась к разновидности «незавершенная попытка передвижения», что позволило классифицировать наблюдаемые феномены как трехтактные восприятия. Некоторые из последних, в свою очередь, входили в состав 8 четырехтактных и 2 пятитактных восприятий. Все пятитактные восприятия совершились на последнем такте на деревья со следов лисиц. Шеститактных и более сложных движений восприятия не наблюдалось на всем протяжении проведенных троплений. Всего на 84 км следовой дорожки лесных куниц восприятие животными этого вида объектов класса «дерево» наблюдалось 1 538 раз из 6 489 случаев однотактных восприятий, 171 раз из 726 случаев двухтактных восприятий, 28 раз из 69 случаев трехтактных восприятий, 5 раз из 8 случаев четырехтактных восприятий и оба раза из

2 случаев пятитактных восприятий (рис. 5). (О фактах восприятия куницами деревьев, в соответствии с методикой зимних троплений, судили по проявленным двигательным реак-

циям животных, ассоциированным исследователем с объектами данного класса на основании общего рисунка следовой дорожки).

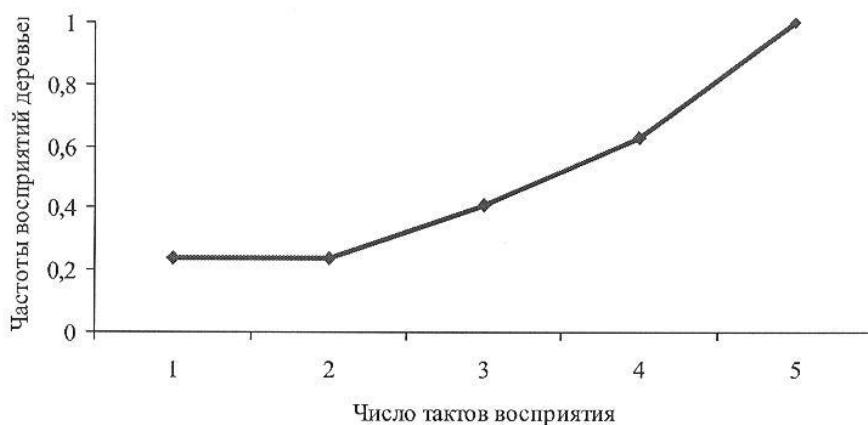


Рисунок 5. Частоты восприятия деревьев лесными куницами при различных по числу тактов способах восприятия

Тревога, сопровождающаяся повышенным числом двигательных реакций, находит свое выражение также в двухтактном восприятии неспецифических для куниц классов объектов (так называемые «прочие объекты»), хотя ранг подобных объектов уступает деревьям в иерархии частот двухтактных восприятий (табл. 1). Отсюда следует, что деревья, помимо связанных с ними прочих утилитарных функций, необходимы лесным куницам как объекты постоянного восприятия. По-видимому, деревья служат для снижения психической напряженности (страха), поскольку лесные куницы, особенно самки, заходят на комели (основания стволов) деревьев при малейшей опасности [23]. Обилие следов обыкновенных лисиц при их высокой численности в антропогенной среде обитания приводит к тому, что данный класс объектов, тревожащий куниц, воспринимается ими чаще, чем собственные следы. Вероятно, это негативно влияет на пространственное самоопределение куниц и навигацию в целом, а также сопровождается существенной потерей энергии. Восприятие объектов внешней среды, которое совершается без переориентации внимания (т. е., однотактное восприятие), способствует экономии энергии [28].

Таким образом, проведенное исследование указывает на зависимость восприятия информации, заключенной в объектах внешней среды, от ее смыслового содержания. Для лес-

ных куниц характерны как однотактные восприятия, так и двухтактные (переориентированные), встречающиеся в поведении животных этого вида приблизительно в десять раз реже однотактных. При двухтактных восприятиях в два-три раза повышенны доли объектов, специфических для данного биотопа, а также объектов, служащих куницам для пространственного самоопределения. К последним относятся свежие собственные следы и удаленные объекты, ориентирующие животных при переходах к другим кормовым участкам. Исчезновение лесных куниц, наблюдаемое по всему ареалу при сведении лесной растительности, объясняется преимущественным восприятием животными этого вида среди всех классов объектов среды обитания именно деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаазе-Раппопорт М. Г., Пospelов Д. А. От амбы до робота: модели поведения. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 295 с.
2. Судаков К. В. Динамические стереотипы, или информационные отпечатки деятельности. – М. : PerSe, 2002. – 128 с.
3. Cordeschi R. The Discovery of the Artificial: Behaviour, Mind and Machines Before and Beyond Cybernetics. – Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 2002. – 312 p.
4. Психофизиология // Ю. И. Александров, К. В. Анохин, Б. Н. Безденежных [и др.] ;

- под ред. Ю. И. Александрова. – СПб. : Питер, 2007. – 464 с.
5. Владимира Э. Д. Модель информационного взаимодействия млекопитающих со средой обитания на примере лесной куницы *Martes martes* (по материалам зимних троплений) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 1(48). – С. 17–22.
 6. Morse D. H. Behavioral Mechanisms in Ecology. – Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 1980. – 383 p.
 7. Manning A., Dawkins M. S. An introduction to Animal Behavior / Univ. of Cambridge. – Press Syndicate, 1992. – 196 p.
 8. Мозговой Д. П., Розенберг Г. С., Владимира Э. Д. Информационные поля и поведение млекопитающих. – Самара : Самарск. ун-т, 1998. – 92 с.
 9. Владимира Э. Д. Исследование информационных процессов в зооценозах с помощью тропления следов (на примере лесной куницы) // Теоретическая и прикладная экология. – Киров : Камертон, 2009. – № 4. – С. 33–38.
 10. Мозговой Д. П., Розенберг Г. С. Сигнальное биологическое поле млекопитающих: теория и практика полевых исследований. – Самара : Самарский ун-т, 1992.
 11. Наумов Н. П. Сигнальные (биологические) поля и их значение для животных // Журнал общей биологии. – 1973. – Т. 34. – № 6. – С. 808–817.
 12. Мозговой Д. П. Информационно-знаковые поля млекопитающих: теория и практика полевых исследований : дис. ... д-ра биол. наук. – Тольятти, 2005. – 49 с.
 13. Цетлин М. Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М. : Наука, 1969. – 316 с.
 14. D'Souza D., Shankar P. Modern Applications of Automata Theory. – New Jersey : World Scientific Publ., 2012. – 656 p.
 15. Бонгард М. М., Лосев И. С., Смирнов М. С. Проект модели организации поведения – «животное» // Моделирование обучения и поведения. – М. : Наука, 1975. – С. 152–171.
 16. Vladimirova E. J. Specific Functional Forms of Behavior in Pine Martens (*Martes martes*) (based on snow tracking data) // Russian J. Theriol. – 2011. – № 2. – P. 47–58.
 17. Uexkull J. An Introduction to Umwelt // Semiotica. – 2001. – № 134(1/4). – P. 107–110.
 18. Филиппечев А. О. Эколо-фаунистическая характеристика хищных млекопитающих семейства куньи (Carnivora, Mustelidae) севера Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Саратов, 2006. – 23 с.
 19. The pine martens *Martes martes* ecological niche and its relationships with other vertebrate predators in the transitional mixed forest ecosystems of Northern Belarus / V. Sidorovich, D. Krasko, A. Sidorovich [et al.] // Canada : Alpha Wildlife Publications, 2006. – P. 107–124.
 20. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.
 21. Гусев А. Н. Общая психология : в 7 т. / под ред. Б. С. Братуся. – Т. 2. Ощущение и восприятие. – М. : Академия, 2007. – 416 с.
 22. Hummel J. E., Biederman I. Dynamic binding in a neural network for shape recognition // Psychol. Revew. – 1992. – V. 32. – P. 32–46.
 23. Граков Н. Н. Лесная куница. – М. : Наука, 1981. – 112 с.
 24. Продивлянов А. В. Биотехнологическая модель – животноводческая ферма // Научное обозрение. – 2011. – № 2. – С. 36–38.
 25. Сизова Е. А. Морфо-функциональные критерии оптимизации путей введения наноразмерных частиц меди в организм животных // Научное обозрение. – 2012. – № 1. – С. 8–15.
 26. Koffka K. Principles of Gestalt Psychology. – N. Y. : Harcourt, Brace & Co, 1935. – 720 p.
 27. Whishaw I. Q., Hines D. J., Wallace D. G. Dead reckoning (path integration) requires the hippocampal formation: evidence from spontaneous exploration and spatial learning task in light (allothetic) and dark (idiothetic) tests // Behavioural Brain Research. – 2001. – № 127. – P. 49–69.
 28. Kooijman S. A. L. M. Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation. – Cambridge University Press, 2010. – 424 p.

Владимира Элина Джоновна, канд. биол. наук, доцент, докторант кафедры «Экология», ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королева (науч-

ональный исследовательский университет)»: Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Савинов Евгений Анатольевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Теория вероятностей и математическая статистика», ФГБОУ ВПО «Са-

марский государственный университет»: Россия, 443001, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1.

Тел.: (927) 702-44-31
E-mail: elyna-well@nm.ru

ADAPTING INDIVIDUAL AS A TRANSFORMER OF USEFUL INFORMATION: SPECIFIC FEATURES OF PERCEPTIVE SYSTEM (BASED ON COMMON MARTEN TRACKING DATA)

Vladimirova Elina Dzhonovna, Cand. of Biol. Sci., Ass. Prof., doctoral student of "Ecology" department, Samara State aerospace university named after S. P. Korolev (national research university). Russia.

Savinov Evgeniy Anatolyevich, Cand. of Phys.-Math. Sci., Ass. Prof. of "Probabilities theory and mathematical statistics" department, Samara State university. Russia.

Keywords: stochastic automaton, probabilistic space, perception, habitat objects, Markov's chain, tracking life activity traces.

Adaptive interaction between animals and their habitat is modeled as an aggregate which transforms external information into mobile responses of an individual. This aggregate consists of two probabilistic automata. The first automaton corresponds to the perceptive, and the second one – to the mobile element of the structure which adapts to natural habitat through adequate behavioral reactions. Based on the example of the common marten the work studies the specific features of the first automaton, which provides selective perception of images from the environment. The perception can be either one- or two-cyclic, that is, re-oriented from one external object to another.