

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ОРИЕНТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ЗВЕРЕЙ

Зайцев В.А.

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия*  
[zviti09@mail.ru](mailto:zviti09@mail.ru)

**Аннотация:** В исследовании перемещений нескольких видов зверей выделены иерархически организованные векторные системы, разные элементы которой характеризуют ориентацию на признаки среды разного масштаба. Переориентация на разные признаки реализуется с участием триггерной системы особых положений, рекурсивных ритмов, определяющих и фрактальные свойства траектории.

### 1. Введение

В исследовании поведения, определяющего перемещения животных, выделяется несколько направлений. Первое касается изучения механизмов, формирующих траектории движения к ориентиру, в системе ориентиров (таксисы, кинезы). Второе направление основано на приложении физических теорий: броуновского движения, полетов Леви (Levy's walk) и др. к объяснению наблюдаемых свойств перемещений. Во многих математических моделях, однако, не решена проблема связи детерминированного, в основном, перемещения со случайным выбором направлений, определяемых данными моделями.

В задачи сообщения, основанного на исследовании перемещений зверей в естественной среде обитания, входит: а) выделение конструктивных компонентов переходов, характеризующих поведенческий механизм при движении в системе ориентиров; б) определение параметров, находящихся в основе формирования траекторий разного уровня пространственной организации.

### 2. Материал и методика

В исследовании кабарги, лося, рыси, тигра и других зверей (всего 16 видов в разном объеме данных) в Центральной России и на Дальнем Востоке применена комбинированная методика (Зайцев, 1991, 2002 и др.): визуальные наблюдения, тропления и др. на ключевых участках. Съёмка траекторий проведена компасом, буссолью, выверенными шагами, землемерным циркулем, GPS-Глонас регистраторами. Минимальные единицы съёмки траектории – элементарные векторы  $V_{\alpha}$ , представляющие собой отрезки почти прямолинейного пути зверя (от  $< 0.5$  м до немного  $\geq 10$  м); углы отклонения  $\alpha_i$  между последовательными  $V_{\alpha}$ , измеренными по азимуту. При троплении отмечали разнообразные ориентиры, препятствия и др. Обработка проведена в пакетах программ NextQGIS, MapInfo, Statistica, Statgraphics. Использован итерационный подход к анализу ориентации при движении к признакам, удаленным на разные расстояния.

### 3. Результаты и обсуждение

На переходах всех видов выделены векторные композиции  $[\tilde{V}_{i...j}]$ , включающие траектории (треки)  $V_{i,j}$ , линии визирования ориентира  $V_{or.i,j}$  из начала трека на его окончание – точечный ориентир (дерево, лежка и др.) или при переходе вдоль линейного ориентира (зарослей, гребня склона и др.). Зверь, в общем случае, выбирает основное направление по  $V_{or.i,j}$ , после чего подключается вся система векторной ориентации на чередующиеся при движении опорные ориентиры, препятствия, места с кормом, лежки и др. Элементарные векторы  $V_{\alpha}$  (у лося 1.8–24.8 м), сочетания которых формируют более протяженные траектории  $V_m$  (у лося 24–90.8 м),  $V_k$  (до 91–272 м), объединенные общим для каждой из них  $V_{or.m...k}$ .  $V_m$ ,  $V_k$ , входят в переходы  $nV_k$  (до 900–1000 м) с направлениями  $V_{or.nk}$  и так далее вплоть до перемещения по участку обитания или пути миграции. Каждая из групп треков и

соответствующих им  $V_{ор.нк}$ . связана с ориентацией на признаки среды разного масштаба, но в полном объеме выявляется и в отсутствие их части, например, при переходе по полю. При варьировании длин треков и  $V_{ор.нк}$  у разных видов, они имеют сходство, обусловленное распределением ориентиров, препятствий.

Распределение  $|V\alpha|$  и  $\alpha_i$  имеет правую асимметрию. На переходах в сложной среде заметны подгруппы  $V\alpha$ . Углы отклонения  $\alpha_i$  между  $V\alpha$  обычно распределены с несколькими модальными пиками, например, у лося:  $7.5^\circ$ ;  $25^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $135^\circ$ . При средних  $\alpha_i$  кабарги  $52.4^\circ$ ,  $61.7^\circ$  и др. на разных переходах мода составила  $27^\circ$ ,  $61^\circ$  соответственно. Характерны также промежуточные пики. С увеличением угла  $\alpha_i$  длины  $|V\alpha|$  уменьшаются: для лося по средним для образцов перехода –  $H = 0.908$ ; кабарги в общей выборке ( $n = 1431$ ) –  $r = -15$ ; у кабана –  $r_h = -0.33$ ; волка –  $r_h = -0.34$ ; зайца-беляка –  $r_h = -0.70$ ; для всех  $p < 0.001$ . Клинокинез смен направлений, формирующий волнообразные траектории, характерен для всех групп векторов. Каждая полуволна  $\lambda/2$  на сменах  $V\alpha$  состоит из 2–4 векторов, иногда больше. Прослежена связь параметров  $\alpha_i$ ,  $|V\alpha|$  и др., ритма смен направлений  $V\alpha$  и др. со свойствами местообитания, распределением объектов пищи и поведенческой активности зверя.

Для сглаженных кривых  $V_m$ ,  $V_k$  характерна спиральная форма, определенная на 69%–86% разных переходов лося. При варьировании формы выделено несколько групп спиральных треков, например, для лося с начальными углами:  $\alpha_{m1} \approx 11^\circ$ – $19^\circ$  (тип  $G$ );  $\alpha_{m2} \approx 27^\circ$  (тип  $A$ );  $\alpha_{st3} \approx 66^\circ$  (тип  $B$ ). С учетом  $\alpha_{mi}$  треки  $V_m$ ,  $V_k$  типа  $+B$  приближаются формулой логарифмической спирали с углом  $\alpha_{st3} \sim 66^\circ$ – $67^\circ$ , что характерно для менотаксической ориентации. Форма треков типа  $+A$  при  $\alpha_{m2}$  (рис.) имеет свойства и логарифмической и гиперболической спиралей:

$$\rho = \frac{A}{\alpha st + \varphi} \left( \frac{\sqrt{1 + (\alpha st + \varphi)}}{\alpha st + \varphi} \right) e^n - b (\sin \alpha) e^{jk(\pi n - \alpha)} \pm d,$$

где  $A$  – параметр спирали;  $\alpha st$  –1,16 рад;  $\rho$  – полярный радиус;  $\varphi$  – угол между  $\rho$  и  $V_{ор.нк}$ ;  $\alpha$  – угол между касательной и  $\rho$ ;  $n, j, b$  – коэффициенты;  $d$  – интервал, равный  $0.2\rho$ , в пределах которого расположено большинство треков  $A, B$ . Однако обычны спирали как с раскручиванием траектории ( $-A, -B$ ), так и с ее закручиванием ( $+A, +B$ ). Тем не менее, каноническая формула спирали указывает на сочетание менотаксической ориентации с движением к устойчивому положению – седловой точке (нередко совмещенной с конкретным ориентиром) при гиперболической траектории перехода на другие подобные треки. С приближением к окончанию  $V_m, V_k$  меняется режим функционирования особого положения: от узла, фокуса к седлу. Определены и другие особые положения.

Перемещение в системе опорных и других ориентиров, совмещенных с особыми положениями, реализуется при двойном контроле:  $\lim (\Delta l / \Delta t) T = L$ . При контроле ориентира:  $\lim l = L$ , но с дополнительным таймерным контролем ( $\tau \rightarrow \tau_{ior} T$ ). При контроле по периоду:  $\lim \tau = \tau_{ior} T$ , где  $\tau$  – отсчет собственного времени при  $\tau_{ior} = 1$ .

#### 4. Заключение

Переориентация на признаки среды разного масштаба на переходах зверей отражается в векторных системах смен направлений и треков движения. Разные элементы данных систем частично взаимосвязаны друг с другом. Регулирование перемещений происходит с участием рекурсивных ритмов (Зайцев, 1991; 2002 и др.) или фрактального времени, часов (Cole, 1995; Bartumeus, Levin, 2008; etc.) переориентации. В разном масштабе зверь реализует общий тип ориентации, имеющий менотаксическую составляющую с перемещением в системе особых положений, совпадающих или не совпадающих с конкретным ориентиром, и формирующих триггерную систему. При движении к ориентире или по общему направлению происходит смена режима функционирования особого положения с переходом

у седловой точки на другой подобный трек. Фрактальные свойства траекторий, параметры и проявления другой поведенческой активности характеризуют одни из наиболее существенных адаптаций поведения животных к пространственно-распределенным качествам среды обитания разного масштаба.

### **Литература**

- Зайцев В.А. Кабарга Сихотэ-Алиня. Экология и поведение. М.: Наука, 1991. 216 с.
- Зайцев В.А. б. Векторные системы и ритмы в перемещениях и ориентации лосей (*Alces alces* L.) и других зверей (Mammalia) // Журн. общей биол. 2002. Т. 63, № 4. С. 335–350.
- Bartumeus F., Levin S.A. Fractal reorientation clocks: linking animal behavior to statistical patterns of search // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2008. V. 105. № 49. P. 19 072–19 077.
- Cole B.J., Fractal time in animal behavior: the movement activity of *Drosophila* // Anim. Behaviour. 1995. V. 50. P. 1317–1324.