

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ:
ДИАГНОСТИКА И СИМПТОМЫ, УЛИКИ И ГЛАВНЫЕ ПОДОЗРЕВАЕМЫЕ.
(ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТИВ: НАБРОСКИ)

Кшнясев И.А.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Исследована многолетняя (1995(3)-2013 гг.) динамика населения мелких млекопитающих (ММ) в темнохвойных южно-таежных лесах Среднего Урала (рис. 1, 3в). Описание района исследования, стандартных методов учета и статистического анализа, основную библиографию здесь не приводим (см. Кшнясев, Давыдова, 2005; 2011).

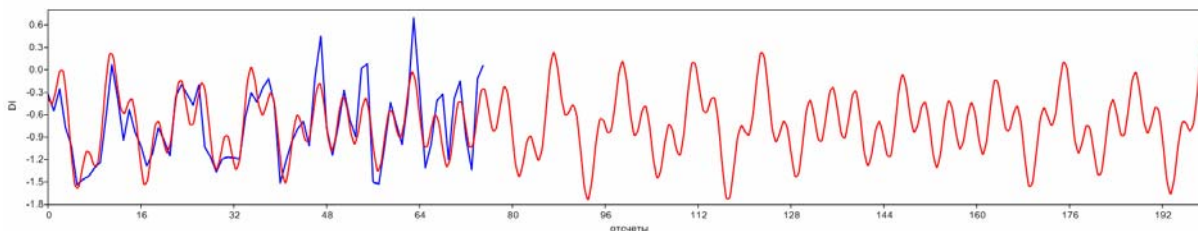


Рис. 1. Наблюдаемая (арксинус-преобразованная) плотность (синий) ММ (Средний Урал, Висимский заповедник, четыре учета в год, 1995-2013 гг.), и ее прогноз (2014-2044) на основе полигармонической модели (красный). *Иллюстрация не претендует на количественно-прецизионное предсказание (но, скорее, демонстрирует возможность существования сложной («квази-хаотической») динамики, порождаемой вполне детерминированной (без стохастики!) моделью. Кроме квази-трехлетних и цирканнуальных («годовых») циклов хорошо видны участки, на которых трехлетние циклы не выражены.*

В динамике плотности ММ (рис. 2-4) обнаружена особенность – изменение автоковариационной структуры («режима динамики»), до 2005(6) г. наблюдались трехлетние (+ слабые цирканнуальные) циклы, после 2005 г. – квази-двухлетние (+ выраженные цирканнуальные) циклы (рис. 3, 4). Исследованы возможные индикаторы и предвестники изменения режима (репродуктивно-возрастная структура населения), предложены методы диагностики (автокорреляционный, Фурье и вейвлет- анализ, «оконная» авторегрессия), моделирования и краткосрочного прогноза (нелинейная авторегрессия, рис. 5, 6). Высказано предположение о возможной неадекватности аппарата (лог-линейной) авто-регрессии при моделировании/интерпретации статистических эффектов актуальной и запаздывающей зависимости от плотности (см. модели данного типа: Royama, 1981; 1992; Bjorstad et al., 1995; Tkadlec, Stenseth, 2001;

Lima et al., 2006; Husek et al., 2013; Cornulier et al., 2013), но ее пригодность для диагностики нестационарности временных рядов (рис. 4, табл. 1-2).

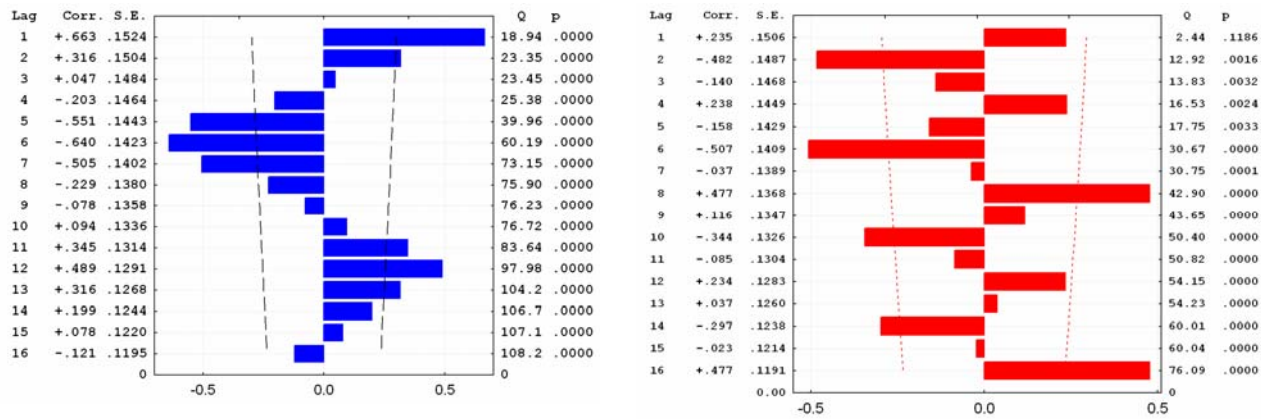


Рис. 2. Автокорреляционные функции двух частей (слева – 1995-2005, справа – 2005-2013) временного ряда индекса плотности ММ весной. Средний Урал, Висимский заповедник, темнохвойная южная тайга, 1995-2013 гг.

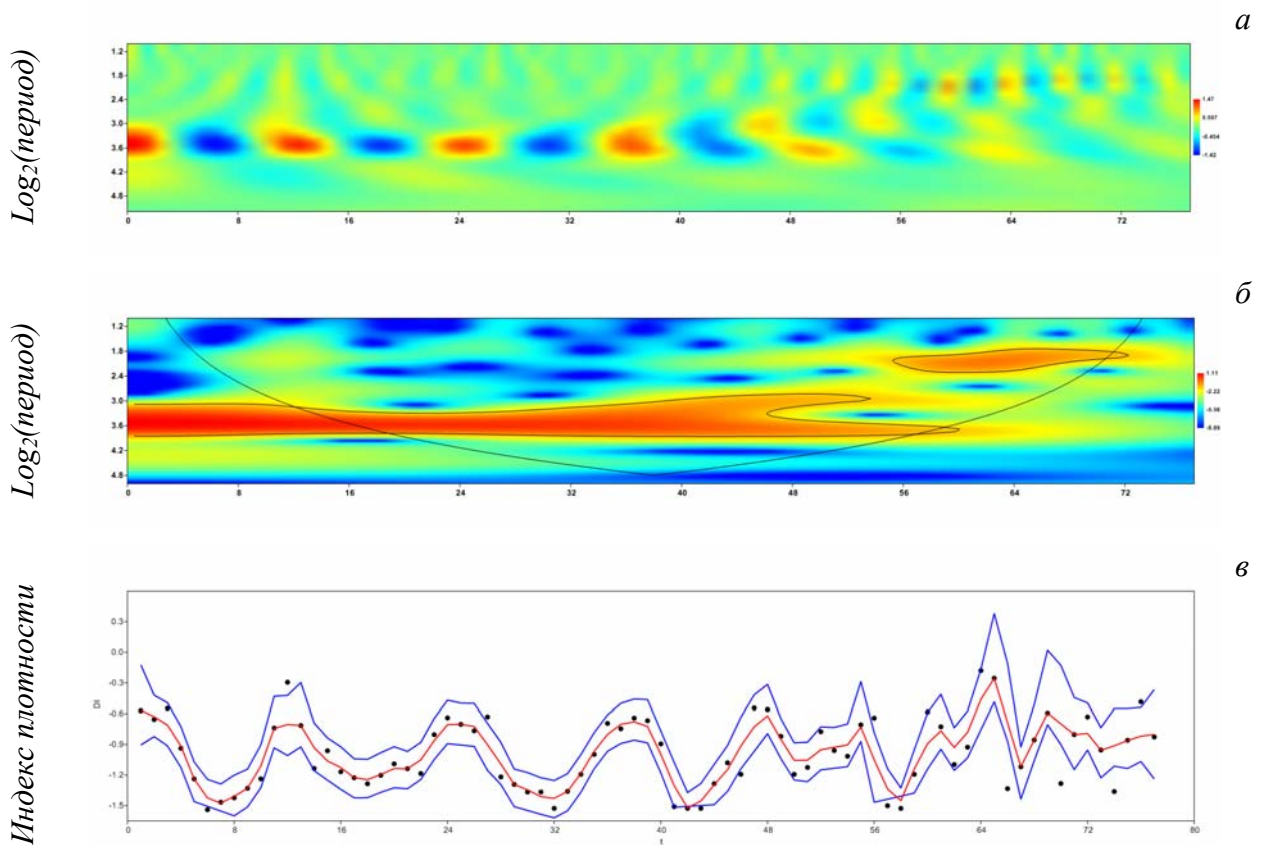


Рис. 3. Наблюдаемая плотность (в) населения ММ и 95% бутстрепный ДИ (четыре учета в год, 1995-2013 гг). Средний Урал, Висимский заповедник, темнохвойная южная тайга. Вейвлетная шкалограмма (а); вейвлетный спектр (б) – тонкие черные линии – 95%ДИ и «конус влияния». Изменение режима динамики датируется примерно 2005-2006 гг.

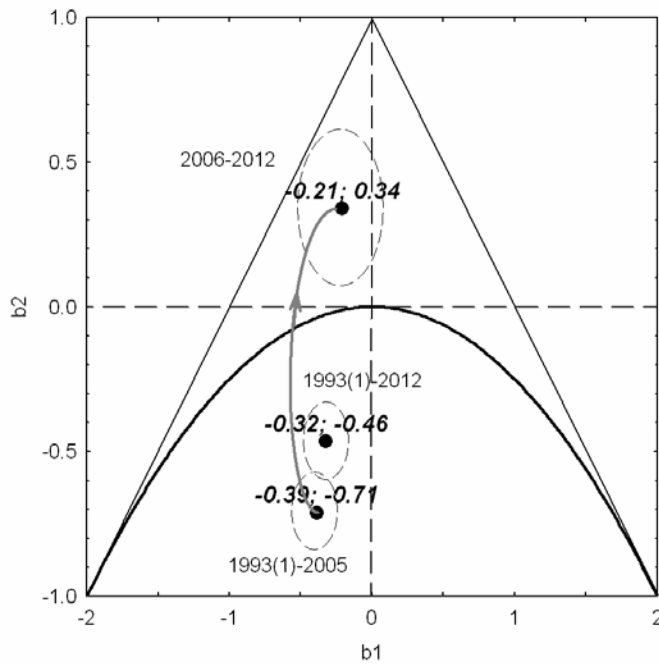


Рис. 4. Оценки параметров (оси эллипсоидов – 95%ДИ) логит авто-регрессии: «статистические» эффекты актуальной (b_1) и запаздывающей (b_2) зависимости от плотности. Две части (1993-2005 и 2006-2012) временного ряда плотности ММ весной, с предполагаемым различным режимом динамики (серая стрелка) и весь ряд наблюдений. Средний Урал, Висимский заповедник, 1993-2012 гг. *Интерпретация параметрического портрета авто-регрессии второго порядка (из Royama, 1992): допустимые комбинации значений b_1/b_2 лежат внутри т.н. «треугольника Роямы», колебательные режимы – под параболой; период колебаний увеличивается при движении слева на право.*

Таблица. 1. Оценки параметров (95%ДИ) логит авто-регрессии $\text{Log}(y_t/y_0) = b_0 + \sum b_i X_i + \varepsilon$: θ - эффекты «актуальной» и запаздывающей зависимости от плотности. Две части временного ряда плотности ММ весной, с предполагаемым различным режимом («0» и «1») динамики и весь ряд наблюдений.

Предикторы	Реж.	b	SE	95%ДИ		t(6154)	p≤	OR=Exp(b)	95%ДИ	
b_0	0	-3.20	0.08	-3.35	-3.04	-39.75	0.001	0.041	0.035	0.048
Δ	1	0.15	0.16	-0.17	0.48	0.94	0.34	1.17	0.85	1.61
«b1» – эффект «актуальной» зависимости от плотности										
$y(t-1)$	0	-0.39	0.07	-0.53	-0.25	-5.29	0.001	0.68	0.59	0.78
$y(t-1)$	1	-0.21	0.14	-0.49	0.07	-1.46	0.15	0.81	0.62	1.07
«b2» – эффект запаздывающей зависимости от плотности,										
$y(t-2)$	0	-0.71	0.07	-0.84	-0.58	10.81	0.001	0.49	0.43	0.56
$y(t-2)$	1	0.34	0.14	0.07	0.60	2.46	0.01	1.40	1.07	1.83
Весь ряд наблюдений										
b_0		-3.03	0.06	-3.16	-2.91	-47.56	0.001	0.048	0.042	0.055
$y(t-1)$		-0.32	0.06	-0.45	-0.20	-5.182	0.001	0.72	0.64	0.81
$y(t-2)$		-0.46	0.06	-0.58	-0.35	-7.742	0.001	0.63	0.56	0.71

Примечание. Жирный шрифт – инверсия знака коэффициента, характеризующего запаздывающую «статистическую» зависимость от плотности и разность b_0 .

Таблица. 2. Отбор полиномиальных моделей логит регрессии $\text{Log}(y_t/y_0) = b_0 + \sum b_i X_i^q + \varepsilon$, объясняемая переменная – плотность ММ весной (весь ряд наблюдений, 1993-2012)

q	Предикторы, степень - q								Статистики				
	$x(t-2)$				$x(t-1)$				K	-2LogL	LR	ΔCAIC	w
1	+	+	+	+	+	+	+	+	9	1510.68	376.54	0	≈1
2	+	+			+	+	+	+	7	1554.22	333.01	24.59	4.6E-06
∴													
231 H_0									1	1887.23		299.80	8.E-66

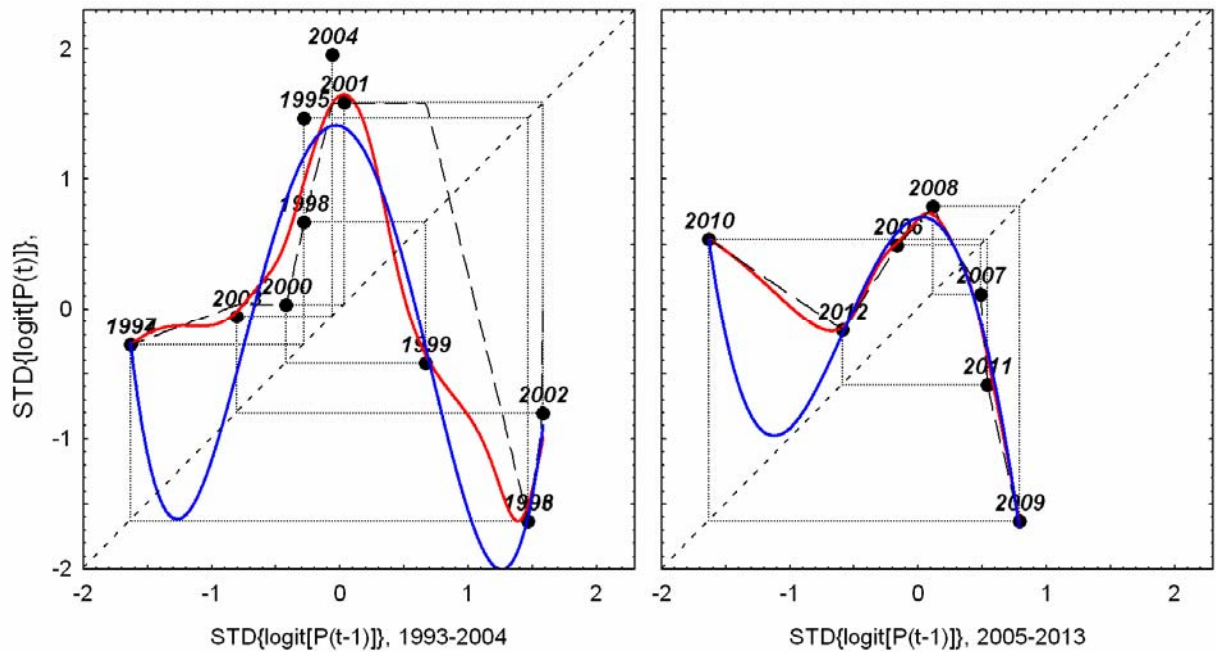


Рис. 5. Параметрическая полиномиальная (синяя линия) и непараметрическая (красная и черная длинный штрих) аппроксимации зависимости (предварительно логит-преобразованных и затем стандартизированных значений) плотности населения ММ весной t-года от плотности год назад. До (слева) и после (справа) предполагаемого изменения режима динамики. Близость восходящей ветки параболы к биссектрисе может означать возможность режима с перемежаемостью.

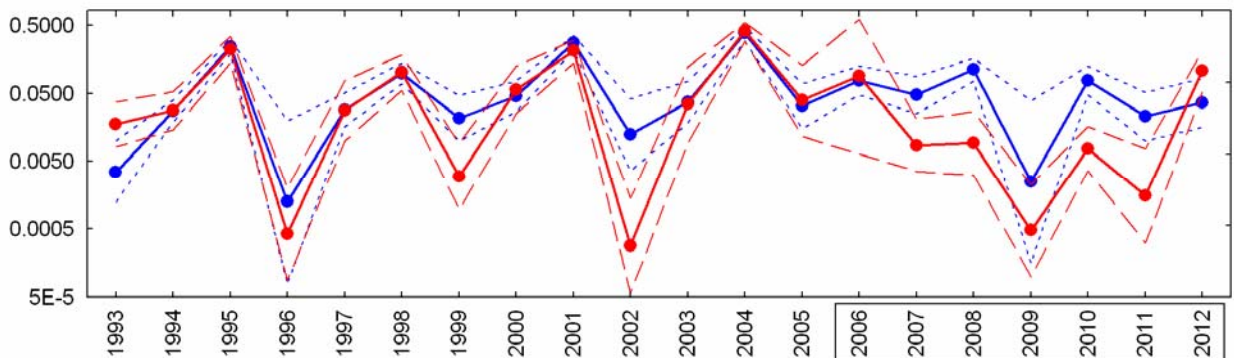


Рис. 6. Наблюдаемая (синяя линия) динамика плотности ММ весной и воспроизводимая (красная) нелинейной логит авто-регрессией (полином 4 степени от $y(t-1)$ и $y(t-2)$). Годы в рамке – не использованы для подгонки параметров, но только для верификации. Штриховая линия – 95% ДИ. Средний Урал, Висимский заповедник, 1993-2012 гг.

Феномен, интерпретируемый как изменение режима динамики популяций (зачастую приписываемый эффектам внешних воздействий), может являться лишь «окном перемежаемости» – свидетельством более существенной сложности (размерности) и нелинейности динамической системы, порождающей (эндогенно?) наблюдаемые траектории.