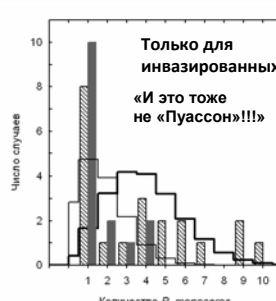
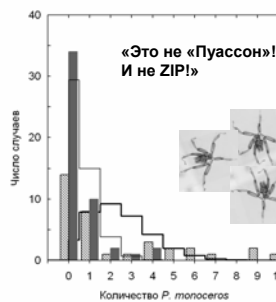
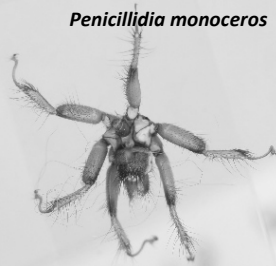
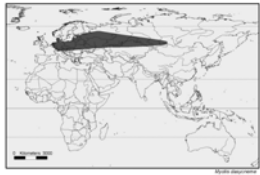
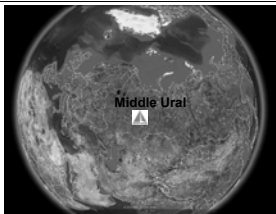


НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА И СВЕРХДИСПЕРСИЯ: СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАНСОВ ИНВАЗИИ И СРЕДНЕЙ ИНВАЗИРОВАННОСТИ ХОЗЯЕВ КРОВСОСУЩЕЙ МУХОЙ *PENICILLIDIA MONOCEROS* SPEISER, 1900

Кшняев И.А., Орлова М.В., Орлов О.Л.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия kia@ipae.uran.ru



• **Задача исследования** – оценка шансов и средней инвазированности прудовой ночницы (*Myotis dasycneme* Boie, 1825) эктопаразитом *Penicillidia monoceros* в зависимости от пола хозяина и времени с начала зимовки.

• Стандартным статистическим инструментом для моделирования счетных данных (целые, ≥ 0) является регрессия Пуассона – один из вариантов унифицированного аппарата GLM – теории обобщенных линейных моделей. Однако, достаточно часто реальные данные характеризуются существенными отклонениями от теоретического распределения Пуассона. Например, эксцессом нулевых значений (ZIP – Zero Inflated Poisson) и/или нарушениями предположения о параметре дисперсии $Var(Y) \neq E(Y)$. Инфляция параметра дисперсии (overdispersion) может быть следствием игнорирования какого-либо важного фактора изменчивости. Например, в приведенном ниже сюжете невозможно учесть эффекта возраста хозяина.

• «Наивный» стандартный статистический анализ был способен выявить лишь наиболее сильный эффект – половую специфику зараженности, но для обнаружения эффекта времени в условиях нелинейной динамики и сверхдисперсии подобный аппарат не обладает достаточной чувствительностью/мощностью. Так, ни регрессия Пуассона (ZIP), ни отрицательная биномиальная (ZINB) регрессия, ни бутстрепин неагрегированных данных не оказались способными признать «статистически значимым» априорно важный эффект времени (не приведены). Более мощным инструментом показал себя аппарат обобщенных аддитивных моделей – GAM, использующий сплайн функции (SF): так, уровень инвазированности для самцов прудовой ночницы оценивается в среднем на 1-2 эктопаразита меньше, а «смертность» *P. monoceros* – порядка одной особи в месяц (таблица). Палиативное решение – осреднение численности эктопаразита (независимо от пола хозяина) по срокам наблюдений позволяет «избавиться» от изменчивости численности эктопаразита между особями хозяина, далее возможно использовать как ресемплинг, так и МНК для явно-параметризованных функций (рисунок, Б или В, соответственно). Однако, высокая цена такой «жертвы» – невозможность оценки эффекта «пол хозяина» служит весомым доводом предпочесть GAM и/или двухкомпонентную «барьерную» модель, так же, как и удобство интерпретации параметров последней. Инвазированность прудовой ночницы эктопаразитом *P. monoceros* не соответствует теоретическому распределению Пуассона (даже после цензурирования нулей) $\chi^2/df = 51.5/33 = 1.56$. Самки хозяина характеризуются: как в 3.4 (95% ДИ; 1.4-8.3) раза более высокими шансами инвазии, так и в 2.4 (1.5-3.7) раза более высокой средней численностью эктопаразита. Снижение численности эктопаразита в течение зимовки может быть описана s-образной функцией, а временная локализация ее «ступеньки» – сопоставлена со сроками спаривания хозяина (декабрь).

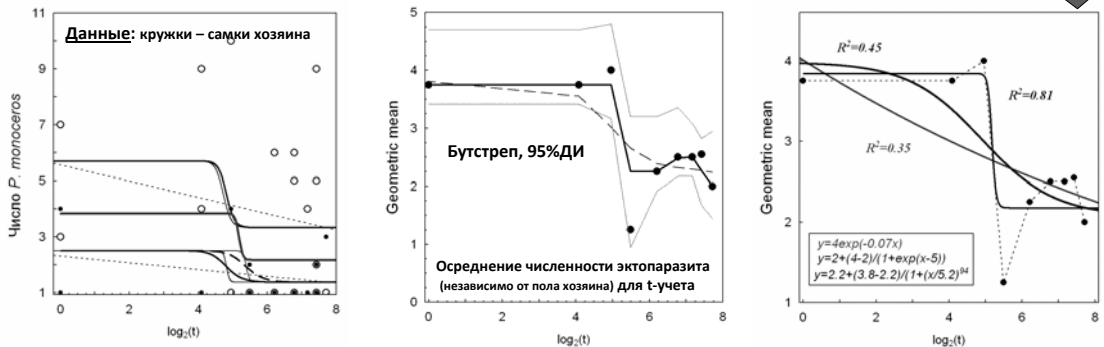


Таблица. Оценки параметров обобщенной аддитивной модели (GAM) для инвазированности прудовых ночниц (n=84) кровососущей мухой *P. topoceros* во время зимовки (сутки от ее начала).

Предикторы	b_i	$s.e.(b_i)$	$p <$	-95%ДИ	+95%ДИ
b_0	0,61	0,075	0,001	0,46	0,76
Пол (самцы)	-1,39	0,254	0,001	-1,90	-0,88
Spline (Время, сут.)	-0,03	0,012	0,015	-0,054	-0,006

Аннотация: Оценены шансы и средняя инвазированность эктопаразитом *P. topoceros* хозяина – прудовой ночницы, в зависимости от пола хозяина и времени с начала зимовки. Двухкомпонентная «барьерная» модель (hurdle model) – комбинация двух распределений: биномиального для вероятности инвазии, и Гамма - для численности (и двух уравнений регрессии соответственно), дает унифицированный и гибкий инструмент статистического моделирования счетных данных даже в условиях сверхдисперсии (overdispersion).

