

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ОЧАГА ХАНТАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ: СТАТИСТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Кшнясев И.А.¹, Бернштейн А.Д.², Маклаков К.В.¹

1 – ИЭРиЖ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

2 – ИПиВЭ им. М.П. Чумакова, РАМН, г. Москва, Россия

kia@ipae.uran.ru

Понимание механизмов колебаний активности природных очагов Хантавирусных (ХВ) инфекций и предсказание эпидемических вспышек являются актуальными проблемами эпидемиологии и медицинской териологии. ХВ встречаются по всему миру, где распространены и их хозяева – грызуны и насекомоядные. Хантавирус Пуумала (PUUV) вызывает у человека геморрагическую лихорадку с почечным синдромом (ГЛПС) и по заболеваемости населения занимает первое место среди всех зоонозов в лесной зоне Европы. В России ГЛПС наиболее эндемична в Предуралье (Удмуртская республика и Башкортостан) с заболеваемостью до 56 человек на 100 тыс. жителей в год. Главная задача исследования – разработка статистических и имитационных моделей для интерпретации и прогнозирования активности ХВ природно-очаговых заболеваний. Эпизоотический мониторинг рыжей полевки (*Myodes glareolus*) – основного хозяина PUUV проведен в районе г. Ижевск (56°50' с.ш., 53°11' в.д.) и ХВ-антиген в легких полевок определен иммуноферментным методом (ELISA).

Гармоническая модель. Первая часть временного ряда (4 наблюдения в год) логарифма плотности PUUV-инфицированного населения полевок (1981–1995) выглядит как колебание с приблизительно 3-х летней периодичностью и может быть адекватно ($R = 0,89$) описана единственной гармоникой: $\lg(I+1) = 0,52 + 0,48 \cdot \sin(0,36 \cdot t - 0,79)$, где t – порядковый номер месяца с начала 1981 года.

Разностные уравнения. Если исследовать данные однократных учетов (в августе), то удобна модель зависящего от плотности роста популяции инфицированных особей (с дискретными поколениями): $I_{t+1} = \varepsilon + \alpha \cdot I_t [1 + (I_t/\beta)^\gamma]$, где каждый параметр ($\varepsilon, \alpha, \beta, \gamma$) имеет простую биологическую интерпретацию. Оценки параметров, полученные, на обучающей части ряда, обеспечивают $R_{1981-1998} = 0,89$, выглядят правдоподобными: $I_{t+1} = 1 + 2,8 \cdot I_t / [1 + (I_t/4,3)^{25}]$ и свидетельствуют о сверх-компенсации ($\gamma \gg 1$). Но прогноз, выполняемый на тестовую часть ряда, теряет фазу наблюдаемых флуктуаций (и, следовательно, и свою ценность), если не принять во внимание «импульсы внешней силы» – был ли сверхурожай плодов липы в предыдущем году. Сверхурожай приводит к сверхраннему началу размножения полевок, поскольку обеспечивает грызунов экстремально высоко-калорийным кормом. И, таким образом, предопределяет (или синхронизирует) рост активности природного ХВ очага: 1) за счет больших доли и притока восприимчивых особей (а поскольку прошло не менее 2-х лет после предыдущей вспышки, то обилие вируса в среде и плотность активных вирусоносителей низки); 2) вступающие в репродукцию животные имеют высокую частоту прямых (и косвенных) контактов и/или подвижность, и, следовательно, находятся под высоким риском инфицирования, если не обладают активным или пассивным иммунитетом. Учет зимнего размножения полевок обеспечил наиболее точный прогноз (с упреждением в полгода), как для PUUV активности, так и вспышки ('0', '1') ГЛПС (1973–2012: $\tau = 1,0$, $Z = 9,1$). Урожай липы (баллы: 0–5) как единственный предиктор дает более заблаговременный (≈ 1 год), но менее точный прогноз (1973–2012: $\tau = 0,7$, $Z = 6,3$).

Дифференциальные уравнения. В качестве итога мы построили детерминированную систему «ресурс-потребитель/хозяин-паразит» в виде двух связанных подсистем, каждая из которых – суть система дифференциальных уравнений, и далее исследовали её динамику. Мы показали качественное сходство поведения предложенной модели и наблюдений, предположили ведущую роль трофических взаимодействий и важность каскадных эффектов и в динамике других систем природно-очаговых инфекций подобных изученной.