



УДК 557.21.71:557.462+539.3

## Модель динамики численности популяции организмов при воздействии паразитов, меняющих половую структуру вида

Ю. С. Букин, А. С. Чуркин

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск  
E-mail: [bukinyura@mail.ru](mailto:bukinyura@mail.ru)

**Аннотация.** Представлена модель динамики численности популяций под воздействием паразитов, передающихся преимущественно от матери к потомству и вызывающих феминизацию самцов (превращения самцов в самок). Рассматривается вопрос об устойчивости подобной системы, когда паразит представлен одним или двумя видами. На основе исследования поведения модели делается вывод, что для устойчивого существования подобных сообществ необходимо определенное сочетание вероятностей смены пола у самцов и воздействия паразита на жизнеспособность организмов.

**Ключевые слова:** динамика популяций, паразит, хозяин, микроспоридии, математическое моделирование.

### *Введение*

Популяции организмов, зараженные паразитами, передающимися преимущественно вертикальным путем, то есть от матери к потомству достаточно широко распространены в природе. Одним из примеров подобного типа являются внутриклеточные паразиты микроспоридии. Для более эффективного размножения микроспоридии способны менять пол, а именно на эмбриональной стадии трансформировать самцов в самок у некоторых видов животных. Также микроспоридии уменьшают жизнеспособность, зараженных ими организмов. Микроспоридиями заражены многие ракообразные [4; 5], в том числе и амфиподы, населяющие озеро Байкал. Проведенные некоторыми авторами исследования по установлению разнообразия микроспоридий показали, что один и тот же вид организмов может одновременно поражаться двумя, а возможно и большим количеством видов подобных паразитов [6].

При исследовании систем хозяев и паразитов такого типа возникает вопрос о том, насколько они устойчивы. Как паразиты микроспоридии влияют на численность своих хозяев. Насколько опасно привнесение микроспоридий в те экосистемы, где они отсутствуют. Для изучения таких проблем часто применяются модели популяционной динамики. В нашей работе мы предлагаем индивидуально ориентированную модель динамики популяции организмов, в которой циркулирует паразит, передающийся преимущественно от матери к

потомству, меняющий, с некоторой вероятностью пол у самцов на противоположный и снижающий жизнеспособность хозяев. С помощью данной модели мы попытаемся отследить круг параметров взаимодействия паразита и хозяина, при котором система будет устойчива.

### *Описание модели*

При разработке модели мы предположили, что популяция хозяев живет в условиях ограниченного количества ресурсов среды, то есть численность ее лимитирована, как и в модели логистического роста [1]. Алгоритм модели построен аналогично нашим предыдущим работам [2; 3]. Главными параметрами для жертв является скорость размножения  $r$  - количество потомков, даваемых за один временной шаг одной репродуктивной парой. Каждый самец на одном репродуктивном шаге может оплодотворить только одну самку. Следовательно общее количество потомков ограничено как численностью самок, так и самцов. Общее количество организмов в системе ограничено числом  $K$  - вместимость территории. На каждом репродуктивном шаге организмы образуют пары, дают потомство и умирают с вероятностью  $P$ , вычисляемой по формуле:

$$P = \frac{N}{K},$$

где  $N$  общее количество хозяев в системе.

Каждый из организмов в системе может быть заражен паразитом. Если организм заражен паразитом, то на каждом репродуктивном

шаге к его вероятности смерти  $P$  добавляется вероятность смерти от влияния паразита  $P_p$ . Паразит может с вероятностью  $P_r$  передаться от матери к потомству. Если паразит передался от матери к ее потомку самцу, то с вероятностью  $P_i$  самец становится самкой. В модели также предусмотрена горизонтальная передача паразитов, то есть заражение одного организма от другого. Вероятность заражения одного организма от другого равна  $P_z$ . Соответственно, если в модели заражено много организмов, то вероятность заражения организма на данном репродуктивном шаге увеличивается.

Время в модели измеряется в количестве репродуктивных шагов, прошедших с начала численного эксперимента.

Модель с двумя паразитами отличается от вышеописанной тем, что каждый организм может быть заражен как одним, так и двумя паразитами сразу. Паразиты обозначаются как тип **A** и тип **B**. Все параметры модели сохраняются теми же. Вероятность смерти хозяина при заражении двумя паразитами такая же, как и при заражении одним.

### Результаты и обсуждение

В численном эксперименте при заражении хозяина одним паразитом первоначально мы задавали размер популяции хозяев в 500 особей, 250 самцов и 250 самок, 95 % особей было заражено паразитом. Параметр вместимости территории  $K = 500$ , скорость размножения  $r = 2$ . В каждом, проведенном нами численном эксперименте, стационарный режим численности и зараженности организмов устанавливался приблизительно через 50 репродуктивных шагов.

В результате было установлено, что при нулевой вероятности горизонтальной передачи и любом не нулевом снижении паразитом жизнеспособности хозяев, зараженные особи быстро элиминировались из популяции, и все паразиты погибали. Если вероятности смены пола у зараженных самцов  $P_i$  была больше 0,95, а влияние паразитов на жизнеспособность хозяев достаточно мало  $P_p < 0,07$  то паразиты быстро распространялись по популяции, заражали всех особей. При этом количество самцов резко уменьшалось, что приводило к резкому сокращению суммарного количества рожденных на репродуктивном шаге организмов и вымиранию популяции. Оба вышеописанных режима

не выгодны либо паразиту, либо хозяину. При достаточно большом значении параметра  $P_p \geq 0,07$ , и значении параметра  $P_i < 0,95$  популяция хозяев сохраняла стационарную численность с определенным уровнем зараженности. Что объяснялось наличием достаточного количества самцов из-за элиминации зараженных особей паразитом и появлением самцов от зараженных самок. Вероятность передачи паразита от матери к потомку должна удовлетворять условию  $P_i \geq 0,95$ . На рисунке приведен результат численного эксперимента, при одновременном существовании паразита и хозяина.

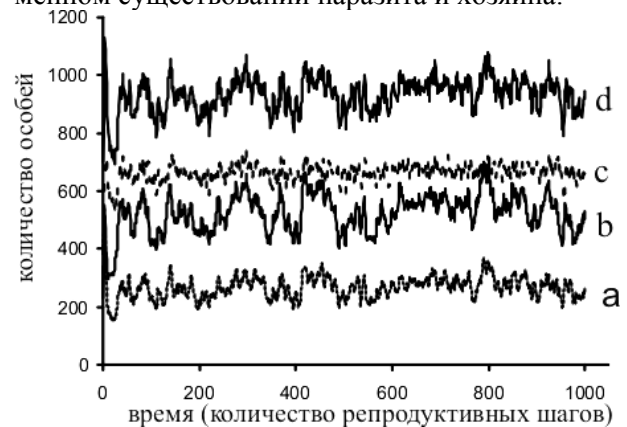


Рис. Результат численного эксперимента при одновременном существовании паразитов и хозяев, а — количество самцов, b — количество незараженных особей, c — количество самок d — общая численность популяции

Суммируя результаты, полученные для одного паразита, можно сказать, что для одновременного выживания паразитов и хозяев необходима не нулевая вероятность горизонтального заражения паразитами и достаточно большое снижение жизнеспособности паразитами хозяев. При этом вероятность вертикальной передачи должна сохраняться на высоком уровне, а вероятность трансформации зараженного самца в самку не может превышать некий критический предел.

В модели с двумя паразитами начальные условия сохранялись такими же, как и в предыдущем случае. Первоначально паразитами заражалось 95 % всех особей. Треть зараженных особей заражалась паразитом **A**, треть паразитом **B**, и оставшаяся треть заражалась двумя видами паразитов. Для стационарного существования популяции, зараженной паразитами **A** и **B**, сохранялись такие же условия, что и для популяции, зараженной одним паразитом. При циркуляции двух паразитов особое значение приобретает параметр — веро-

ятность горизонтального заражения  $P_z$ . Если  $P_z$  в модели было очень мало  $P_z < 10^{-5}$ , то через некоторое количество репродуктивных шагов выживала линия особей зараженных только паразитом **A** или паразитом **B**. При этом параллельно сохранялись здоровые особи. В данном случае один из паразитов элиминировался. При  $P_z \geq 10^{-5}$  в модели сохранялись параллельно оба паразита. Следовательно, условием существования обоих паразитов в популяции является достаточно высокая вероятность горизонтальной передачи паразитов.

#### Литература

1. Свиричев Ю. М. Устойчивость биологических сообществ / Ю. М. Свиричев, Д. О. Логофет. – М. : Наука, 1987. – 353 с.
2. Семовский С. В. Модели симпатрического видообразования в изменяющихся условиях среды /

С. В. Семовский, Ю. С. Букин, Д. Ю. Щербаков // Сибирский экологический журнал. – 2004. – Т. 5. – С. 621–627.

3. Bukin Ju. S. Genetic Flows in a Structured One-Dimensional Population: Simulation and Real Data on Baikalian Polychaetes M. Godlewskii / Ju. S. Bukin [et al.] // In Silico Biology. – 2007. – Vol. 7(3). – P. 277–284.

4. Fielding N. J. Ecological impacts of the microsporidian parasite *Pleistophora mulleri* on its freshwater amphipod host *Gammarus duebeni celticus* / N. J. Fielding [et al.] // Parasitology. – 2005. – Vol. 131. – P. 331–336.

5. Haine E. R. Conflict between parasites with different transmission strategies infecting an amphipod host / E. R. Haine, K. Boucansaud, T. Rigaud // Proc. Biol. Sci. – 2005. – Vol. 7. – P. 2505–2510.

6. Ironside J. E. Two species of feminizing microsporidian parasite coexist in populations of *Gammarus duebeni* / J. E. Ironside [et al.] // J. Evol. Biol. – 2003. – Vol. 16(3). – P. 467–473.

## Model of population dynamics of organisms under parasitic sexual distortion pressure

Yu. S. Bukin, A. S. Churkin

Institute of Limnology SB RAS, Irkutsk

**Abstract.** In article are presented the model of population dynamics under influence of the parasites that transmitted mainly from mother to offspring and make feminization of mails. There is impotent question about stability of similar system when parasites are represented of two and many different species. On the basis on results of modeling we make the conclusion that stability of system host – parasite are exist after determined combinations of probabilities of change of sex of male and influences of the parasite on vitality of organisms.

**Key words:** population dynamics, host, parasite, microsporidia, mathematician modeling.

*Букин Юрий Сергеевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278  
кандидат биологических наук  
старший научный сотрудник  
лаборатории геносистематики  
тел.: (395 2) 42–29–23, факс (395 2) 42–54–05  
E-mail: bukinyura@mail.ru

*Bukin Yuri Sergeevitch*  
Institute of Limnology SB RAS  
664033, Irkutsk, 3, Ulan-Batorskaya St.  
Ph. D. in Biology, senior research scientist  
Laboratory of Genosystematics  
phone: (395 2) 42–29–23, fax: (395 2) 42–54–05  
E-mail: bukinyura@mail.ru

*Чуркин Александр Сергеевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278  
аспирант  
тел.: (395 2) 42–29–23, факс (395 2) 42–54–05

*Churkin Aleksandr Sergeevitch*  
Institute of Limnology SB RAS  
664033, Irkutsk, 3, Ulan-Batorskaya St.  
doctoral student  
phone: (395 2) 42–29–23, fax: (395 2) 42–54–05  
E-mail: bukinyura@mail.ru