

УДК 539.3

## Компьютерное моделирование видообразования

В. С. Третьяков, Н. П. Третьяков, А. Я. Терлецкий

*Кафедра прикладной математики  
Российский государственный социальный университет  
ул. Вильгельма Пика, 4, Москва, Россия*

Целью нашей работа является моделирование формирования прогрессивной морфологической структуры в процессе симпатрического видообразования. Она появляется как некая уникальная комбинация нулей и единиц в двух битовых массивах. Организмы, которые обладают прогрессивной структурой, лучше адаптированы, и поэтому более жизнеспособны. Мы показали, что появление стабильной прогрессивной структуры возможно только при достаточно низкой вероятности мутаций. Это объясняет, почему подобные эволюционные новшества происходят чрезвычайно редко.

**Ключевые слова:** битовая модель, модель Пенна, симпатрическое видообразование.

### 1. Введение

Математическое имитационное моделирование стало признанным способом изучения принципиальных вопросов биологической эволюции, в частности, видообразования [1–6]. Д. Стауффер, С. М. де Оливейра и другие считают, что видообразование цихлид *Amphilophus* никарагуанского озера является наилучшим примером симпатрического (т.е. происходящего без географической изоляции) видообразования в природе, доступного современным наблюдениям. Моделируя этот процесс, авторы работы [3] представляют каждый организм хронологическим 32-битным массивом (в рамках известной модели Пенна для описания процесса старения [6]) и двумя дополнительными массивами для описания пищевой специализации (которая обусловлена различным строением зубов) и для описания половой сегрегации (самка выбирает самца с той же окраской, как у неё). Авторы показали, что в зависимости от заданных параметров симпатрическое видообразование может быть как с наличием, так и с отсутствием естественного отбора. Так же упомянутые авторы [3] исследовали симпатрическое видообразование, обусловленное появлением экологических отличий. Авторы использовали простую битовую модель для описания двух типов клюва у земляных выюрков с Галапагосских островов. И, наконец, в той же работе [3] простая битовая модель использовалась для описания возникновения новых форм жизни в эволюции (как на уровне видов, так и на уровне более высоких таксонов: родов, семейств и т.д.).

Целью нашей работы является разработка принципиально иного направления моделирования формирования прогрессивной морфологической структуры, которая описывается корреляцией между различными участками генома. Мы показали, что появление стабильной прогрессивной структуры возможно лишь при достаточно низкой вероятности мутаций.

### 2. Модель

При разработке модели мы руководствовались следующими идеями, отражающими биологическую реальность: а) эволюция всегда происходит на фоне негативных мутаций и в противодействии им; б) кодирование генетической информации в значительной степени осуществляется путём возникновения корреляций между различными частями генома; в) выявляется все больше примеров поливалентности генов, когда один и тот же ген регулирует совершенно различные функции. Последний пункт воплощён в нашей модели тем, что появление нового

полезного органа происходит за счёт возникновения определённой структуры тех же самых негативных мутаций.

Каждый организм гаплоидной бесполой популяции представлен двумя 32-битными массивами, состоящими из нулей и единиц. Мутации описываются единицами, отсутствие мутаций — нулями. Смерть организма наступает при превышении количества мутаций определённого предела. Определённая комбинация мутаций в первом и втором массивах детерминирует появление органа. Если в первом массиве три элемента с номерами, идущими подряд  $i, i+1, i+2$ , представлены единицами и любой элемент второго массива представлен также единицей, то индивидуум обладает органом. Эту комбинацию мутаций можно представить в графическом виде — в координатной плоскости  $XU$ , причём первый массив  $OX$  будет представлять ось  $X$ , второй массив  $OY$  — ось  $Y$ . И тогда мы увидим линию из трёх точек, расположенных горизонтально рядом.

Как известно, смерть определяется как законами микромира (упомянутая смерть генной природы), так и законами макромира — смерть при конкуренции за пищу, пространство и т.д. Конкуренция описывается фактором Вервольста, — вероятностью смерти из-за ограниченности природных ресурсов [3, 6, 7]:  $V = N/N_{\max}$ , где  $N$  — текущая численность организмов, а  $N_{\max}$  — максимально допустимая численность (объём экологической ниши).

У организмов, обладающих прогрессивным органом (например, будем считать, что это глаз), есть огромное преимущество над остальными особями, поэтому для них соответствующая вероятность смерти будет значительно меньше, то есть для них  $V_1 = N/N_{\max 2}$  и  $N_{\max 2} \gg N_{\max}$ ,  $N_{\max 2}$  — максимально допустимая численность организмов с органом.

Возникновение мутаций происходит при бесполом размножении особей: дочерняя особь получает от материнской точную копию генома, в которой с вероятностью  $p$  появляется «1» в случайно выбранном элементе первого массива и с той же вероятностью появляются «1» в случайно выбранном элементе второго массива. Если в выбранном элементе уже была единица, то она остаётся без изменений. Как всегда в подобных моделях, время измеряется в условных единицах — шагах алгоритма, в течение которых и происходят вышеупомянутые события — смерть и размножение организмов.

### 3. Заключение

На рис. 1 представлено развитие популяции без возможности формирования органа (для  $p = 0, 2$ ), что может служить контрольным измерением популяционной динамики вида, где формируется орган.

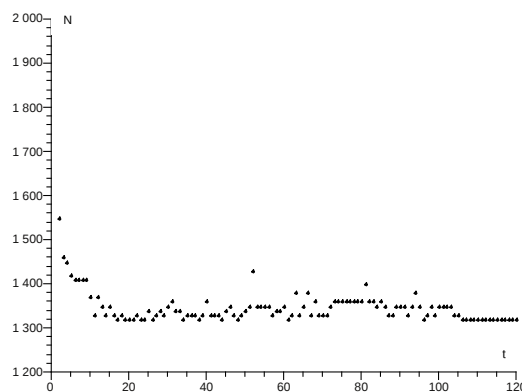


Рис. 1. Развитие популяции при отсутствии возможности возникновения органа, при вероятности негативных мутаций  $p = 0, 2$

На рис. 2 представлено развитие популяции с возможностью возникновения прогрессивного изменения при значениях  $p = 0, 400 - 0, 0025$ , и мы можем видеть

соответствующие фазовые переходы, отражающие появление и доминирование фракции с органом.

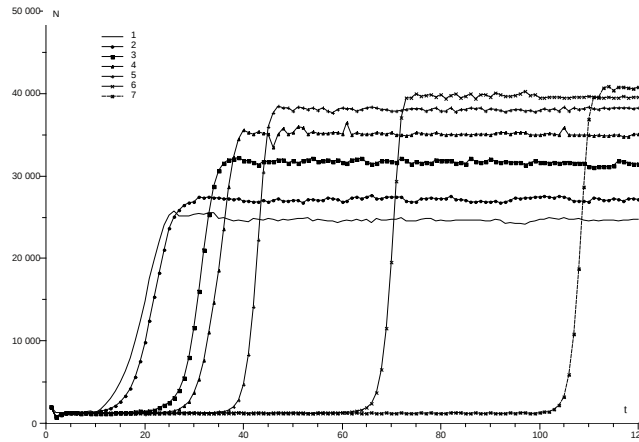


Рис. 2. Численность популяции с возможностью возникновения органа, при  $p = 0,400(1); 0,200(2); 0,100(3); 0,0250(4); 0,0050(5); 0,0025(6)$

Важно отметить, что характеристики фазовых переходов (установившаяся численность и  $t_n$  — время перехода) не зависят от таких параметров, как начальная численность,  $N_{\max}$  и  $N_{\max 2}$  (есть только зависимость только от соотношения  $N_{\max}/N_{\max 2}$ ). Учитывая это, можно рассматривать, по аналогии с физикой, наблюдаемые стремительный рост и стабилизацию численности при появлении популяции с органом как истинный фазовый переход.

Характерно, что для высокой вероятности негативных мутаций  $p > 0,1$ , значительное число потомков, произведённых родителями с глазами, являются безглазыми. Если же вероятность негативных мутаций снижается, то доля безглазых потомков от родителей с глазами так же снижается. При низких  $p$  фракция с глазами появляется на более поздних стадиях, что объясняется тем, что уникальная комбинация генов формируется в этом случае медленнее. При этом, однако, практически все потомство имеет глаз, что говорит о полноценности произошедшего перехода. Таким образом, есть основания полагать, что наша предельно простая модель отражает важнейшие свойства видообразования, как-то: уникальность генетической мутации, приводящей к образованию вида, и возможность его образования чуть ли не от одной пары особей (в бесполом случае — от одной особи), короткое время, в течение которого происходит образование нового вида, генетическое закрепление приобретённых признаков.

## Литература

1. Schwammle V. et al // Physica A. — Vol. 369. — 2006. — P. 612.
2. Kondrashov A. S., Kondrashov F. A. // Nature. — Vol. 400. — 1999. — P. 351.
3. Stauffer D. et al. Biology, Sociology, Geology by Computational Physicists. — Amsterdam: The Netherlands: Elsevier, 2006. — Pp. 250–266.
4. Barluenga M. et al // Nature. — Vol. 439. — 2006. — P. 719.
5. Schliewen U. K. et al // Nature. — Vol. 444. — 2006. — P. 712.
6. Penna T. J. P. // J. Stat. Phys. — Vol. 78. — 1995. — P. 629.
7. Tretyakov V. S., Tretyakov N. P. // Physica A. — Vol. 387. — 2008. — P. 4215.

UDC 539.3

**Computer Simulation of Appearance of Animal Organ****V. S. Tretyakov, N. P. Tretyakov , A. Ya. Terletsy***Social State University of Russia  
4, Vilgelm Pick str, Moscow, Russia*

The purpose of our work consists in simulation of forming of a progressive morphological structure during sympatric speciation.. This progressive structure is described by an unique set of «1»s in two non-parallel bit-strings. Individuals with this structure will be better adapted to the current environment. We show that the appearance of a stable progressive structure can occur in case of low probability of negative mutations and, therefore, it is a very rare evolutionary event.