

Программа устойчивости жизни

В. Г. Горшков, А. М. Макарьева

Аннотация

Программа сохранения сложности жизни записана четырёхбуквенным молекулярным алфавитом в геноме – макромолекулах ДНК. При производстве следующих поколений эта программа генома копируется с квантовыми ошибками. При этом за время полураспада сохраняется половина безошибочных программ, тождественных программам предшествующего поколения. Предотвращение накопления ошибок в следующих поколениях достигается уникальным в природе соединением особенностей квантовых свойств программы генома и построенных на основе этой программы классических объектов – живых особей. Особи в популяции на основе энергии, потребляемой из окружающей среды, обеспечивают непрерывное копирование программы генома и устранение из популяции особей с ошибочной программой в ходе конкурентного взаимодействия. Особенности этого механизма поддержания устойчивости описаны в этой статье.

1. Живая и неживая природа в окружающей среде

Основная особенность жизни – её фантастическая сложность по сравнению с любыми физическими процессами в окружающей среде – дождями, молниями, ураганами, смерчами, реками, лавинами, землетрясениями. Все физические процессы являются порождениями окружающей среды. Изменение условий окружающей среды изменяет и происходящие в ней физические процессы, что можно рассматривать как их приспособление к окружающей среде. Другими словами: окружающая среда управляет физическими процессами.

Почему жизнь столь сложна? Почему на суше образовались сложнейшие экосистемы лесов, где растут деревья, а не только трава и

кустарник? Почему не существует промежуточной по сложности жизни между наблюдаемой жизнью и процессами неживой природы? Если бы жизнь, как и неживые процессы, зависела только от окружающей среды и управлялась этой средой, приспособляясь к любым её изменениям, то жизнь не должна была бы быть сложнее неживых природных процессов.

Единственное объяснение сложности жизни – это способность жизни не приспособляться, а управлять окружающей средой, не допускать отклонения ее в непригодное для жизни состояние. Сверхсложность этого управления и требует наблюдаемой свехсложности организации жизни. В частности, именно протяжённые леса, а не травостой или кустарник, управляют дождём и течением рек на суше¹.

Это утверждение понятно современным людям, создавшим свою искусственную окружающую среду в виде цивилизации, без которой люди не могут жить вне своего естественного ареала – берегов рек, озёр и морей тропического климата. Не искусственная среда цивилизации управляет людьми, а люди вынуждены, работая по восемь часов в сутки, постоянно управлять этой искусственной средой, сохраняя её в пригодном для человека состоянии. Однако созданная людьми цивилизация слишком проста по сравнению с жизнью и не способна обеспечить управление природной окружающей средой, в которой существует цивилизация. Цивилизация не позволяет людям регулировать температуру атмосферы, ветер, осадки, предотвращать засухи и наводнения, ураганы и смерчи. Люди могут лишь устранять последствия неблагоприятных природных явлений, по возможности восстанавливая разрушенную ими искусственную среду цивилизации.

2. Наследственная информация жизни

¹ Горшков В.Г., Макарьева А.М. (2009) О русском лесе: почему на суше идут дожди и текут реки? Биология в школе. №6, с. 11-14.

Итак, для поддержания созданной жизнью окружающей среды в пригодном для неё состоянии жизнь вынуждена быть сверхсложной. Информация о сверхсложности жизни у большинства биологических видов биосферы записана в особых полимерных молекулах – макромолекулах дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Полная информация, записанная на этих молекулах, кратко называется геномом вида. После утраты этой генетической информации у вымерших видов её нельзя восстановить заново. По раскопкам, так называемым палеоданным, мы знаем о существовании динозавров, мамонтов и других не существующих сейчас видов. Знаем о недавно уничтоженных человеком видах – стеллеровой корове, дронте, странствующем голубе. Их геном безвозвратно утерян и невосстановим. Ни один вымерший вид никогда вторично не возникал впоследствии. По палеоданным известно также, что большинство ныне живущих и вымерших видов морфологически не изменялись в течение времени существования вида, составляющего порядка нескольких миллионов лет². Следовательно, их генетическая информация также оставалась неизменной³.

Вероятность случайного возникновения жизни с минимальным геномом при любых способах подсчёта оказывается намного меньшей единицы при всех мыслимых взаимодействиях атомов во всей Вселенной за всё время ее существования^{4,5}. Однако при любой малой вероятности случайного события оно может произойти в любом месте в любой промежуток времени, но только один раз. Это строгое научное утверждение. Если признать, что проведённая оценка вероятности верна,

² Gould S.J. (2007) *Punctuated equilibrium*. Cambridge MA, Harvard University Press.

³ Bomfleur B. et al. (2014) Fossilized nuclei and chromosomes reveal 180 million years of genomic stasis in royal ferns. *Science* 343: 1376-1377.

⁴ Эйген М. (1973) Самоорганизация материи и эволюция биологических молекул. Москва, Мир.

то бессмысленно искать другую жизнь во Вселенной и надеяться на прибытие на Землю каких-либо пришельцев.

Таким образом, ни саму жизнь, ни какие-либо конкретные виды нельзя создать вторично. Существующую генетическую информацию видов можно только копировать. Информация полимерной макромолекулы ДНК записывается с помощью четырех молекулярных букв – нуклеотидов. Эти четыре нуклеотида способны связываться в комплементарные пары, образуя четырехбуквенную двухцепочечную полимерную молекулу ДНК. При копировании двойная цепочка расплетается и на каждой одиночной цепочке достраивается комплементарная цепочка. В результате образуются две тождественные макромолекулы ДНК двух разных клеток одной или разных особей одного и того же вида.

3. Квантовая природа жизни

В процессе копирования происходят ошибки и частичный распад макромолекулы ДНК. Возникновение этих ошибок подчиняется известному закону радиоактивного распада, согласно которому за характерное время полураспада из первоначального числа молекулярных объектов половина остается **тождественными** первоначальным, т.е. не содержит ошибок, а вторая половина содержит ошибки. В этом состоит квантовая природа жизни.

Невозможность копирования без ошибок означает необходимость производства нескольких потомков, из которых только определённая часть не содержит ошибок. Следовательно, необходима популяция независимых друг от друга особей каждого вида.

Если жизнь способна узнавать распавшиеся копии в наборе (популяции) живых особей и удалять их из популяции, то жизнь будет

⁵ Chopra A., Lineweaver C.H. (2016) The Case for a Gaian Bottleneck: The Biology of Habitability. *Astrobiology* 16: 7-22.

сохранять свою упорядоченную организацию в течение неограниченного времени. Необходимо лишь, чтобы удаление распавшихся копий происходило быстрее их последующего копирования. Сложная программа узнавания распадных особей нормальными и устранения распадных особей из популяции должна быть записана в геноме нормальных особей. Если бы жизнь не обладала квантовой природой, т.е. при копировании не оставалось бы копий, **тождественных** первоначальному, то сохранить упорядоченность жизни со временем было бы невозможно.

4. Скорость распада генетической информации

Чем больше генетических букв содержится в ДНК, тем больше вероятность ошибки. Количество букв (нуклеотидных пар) в геномах большинства видов не превосходит 10^9 (один миллиард). Жизнь в процессе эволюции уменьшила вероятность ошибки при копировании двухцепочечной ДНК до 10^{-10} на одну букву на одно копирование⁶. Это стало возможным благодаря использованию программы исправления ошибок при сравнении вновь синтезируемой комплементарной цепочки с оригиналом. Построение нового организма требует около 10 делений в зародышевой линии⁷. Таким образом, при построении генома нового поколения возникает $\mu = 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-10} \sim 1$ ошибка на всю генетическую информацию вида. Время полураспада имеет порядок величины времени построения нового поколения. Следовательно, половина нового поколения популяции не содержит ошибок. Вторая половина содержит одну ошибку на весь геном и должна быть лишена возможности производить потомство. Только в этом случае будет сохранена первоначальная организация жизни.

⁶ Drake J.W. et al. (1998) Rates of spontaneous mutations. Genetics 148: 1667-1686.

⁷ Горшков В.Г., Макарьева А.М. (1997) Зависимость гетерозиготности от массы тела у млекопитающих. Доклады РАН 355: 418-421.

При постоянной численности популяции каждая нормальная особь должна в среднем производить двух потомков, одного нормального без ошибок генома и одного распадного, содержащего одну ошибку генома и подлежащего устранению из популяции. Такой вариант воспроизводства нового поколения, когда каждая особь независимо от других особей популяции производит свое потомство, называют партеногенезом. Сохранение генома партеногенетического вида без накопления ошибок требует немедленного уничтожения распадных особей после их обнаружения, т.е. обеспечивается путем регуляции смертности особей популяции.

Вероятность появления ошибки порядка 10^{-10} на букву на деление определяется универсальностью биохимической природы жизни⁸ и структуры ДНК, используемой различными видами живых организмов, и практически не зависит от записанной в геноме информации. Поэтому можно считать, что жизнь достигла максимума в сокращении скорости накопления ошибок генома и дальнейшее уменьшение вероятности появления ошибок невозможно. Рост величины генетической информации (генома вида) наталкивается на серьезные трудности. Проблемы возникают уже при увеличении генома всего лишь в несколько раз по сравнению с описанной выше величиной 10^9 генетических букв. У млекопитающих и человека величина генома $3 \cdot 10^9$ букв, а число делений, необходимых для построения клеток в зародышевой линии, порядка 30. При этом среднее число ошибок при построении каждой клетки организма следующего поколения достигает $\mu \approx 10$ и более.

Вероятность новых ошибок, появляющихся у особей следующего поколения, подчиняется распределению Пуассона: $p(n) = e^{-\bar{n}} \bar{n}^n / n!$, где n – число ошибок, а $\bar{n} = \mu$ – среднее число новых ошибок. При $\mu = 10$

⁸ Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Li B.-L., Chown S.L., Reich P.B., Gavrilov V.M. (2008) Mean mass-specific metabolic rates are strikingly similar across life's major domains: Evidence for life's metabolic optimum. Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A., 105, 16994-16999.

вероятность отсутствия новых ошибок в клетках потомка равна $p(0) = e^{-10}$. Для появления в следующем поколении одной особи без новых ошибок необходимо произвести $e^{10} = 22$ тысячи особей. Такое количество потомков производят многие рыбы, но не может родить за всю жизнь ни одна особь млекопитающих и птиц. Безошибочных геномов у них быть не может.

5. Рекомбинация геномов при размножении

Поэтому биологические виды с большим числом μ новых ошибок вынуждены переопределить понятие нормальной особи. Нормальной особью является особь, число ошибок в геноме которой не равно нулю, но не превышает некоторого порогового значения n_c . Особи, содержащие большее число ошибок $n > n_c$, являются распадными и удаляются из популяции. При копировании геномов особей следующего поколения к имеющимся у родителей ошибкам, распределённым в популяции по Пуассону, рис. 1а, добавляется μ новых ошибок, также случайно распределённых у особей потомства. После удаления из популяции распадного потомства с $n > n_c$, распределение ошибок у оставшихся особей отклоняется от случайного распределения Пуассона. Доля нормальных особей с максимально допустимым числом ошибок $n = n_c$ возрастает, рис. 1б. За несколько поколений геномы всех нормальных особей накапливают пороговое значение ошибок n_c . После этого при образовании следующего поколения все потомки оказываются за допустимым порогом n_c .

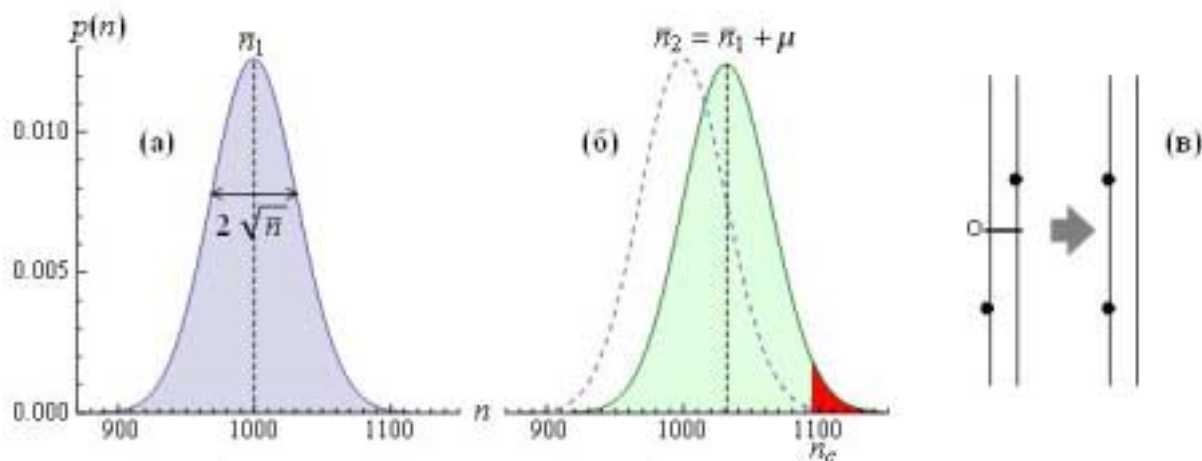


Рис. 1. Рекомбинация и генетическая стабилизация. (а) Исходное распределение Пуассона поколения родителей со средним $\bar{n}_1 = 1000$ и шириной $\sqrt{\bar{n}_1} = 32$. (б) Распределение Пуассона у потомства со средним $\bar{n}_2 = \bar{n}_1 + \mu$, сдвинутое по отношению к исходному на число новых ошибок μ , принятое равным 32. Особи с $n > n_c$ удаляются из популяции (доля распадных особей (заштрихована красным) определяется из уравнения $\sum_{n>n_c} np(n) = \mu$). (в) Две молекулы

ДНК, получаемые особью от двух родителей, содержат ошибки (точки) в разных местах. Эти молекулы разрезаются в точке O и обмениваются частями так, что обе ошибки оказываются только в одной копии. Случайная рекомбинация геномов особей в популяции превращает обрезанное распределение на рис. 1б в исходное распределение Пуассона на рис. 1а.

Для предотвращения подобной генетической деградации популяции необходимо в каждом поколении восстанавливать пуассоновское распределение числа ошибок со средним, меньшим n_c . Это достигается с использованием особого способа размножения, при котором потомство копируется только после взаимодействия геномов двух родителей. Одиночные (гаплоидные) наборы геномов двух родительских особей объединяются в так называемую диплоидную пару (пару двухцепочечных макромолекул ДНК) в течение диплоидной стадии (диплофазы) жизни особей. На определённом этапе этой стадии происходит перемешивание гаплоидных геномов родителей, называемое генетической рекомбинацией. Каждый из гаплоидных геномов разрезается в нескольких случайных, но одинаковых местах, после чего два генома обмениваются вырезанными участками. Если ошибка в одном геноме

расположена с одной стороны от разреза, а во втором геноме – с другой, то после перестановки местами частей этих геномов у одного генома не останется ни одной ошибки, а второй геном будет содержать две ошибки, рис. 1в.

Благодаря рекомбинации повышенная численность особей с числом ошибок n , близким к порогу n_c , уменьшается. Распределение ошибок возвращается к исходному пуассоновскому распределению со средним значением $\bar{n} < n_c$, при котором доля особей, имеющих пороговое значение ошибок, мала, рис. 1а.

Многие биологические виды, например, некоторые дафнии и тли, могут размножаться партеногенетически в течение многих поколений, не восстанавливая пуассоновское распределение числа ошибок. При этом в каждом новом поколении всё большая доля особей за счёт сдвига на μ в сторону n_c оказывается за порогом и должна быть удалена из популяции. Чтобы при этом число нормальных особей оставалось постоянным, общая численность партеногенетической популяции должна расти. Такие организмы зачастую кратковременно развивают огромную численность, рис. 2.

При попадании популяции в неблагоприятные условия организмы включают взаимодействие геномов родителей и рекомбинацию, возвращая популяцию в нормальное состояние с малой численностью распадных особей⁹. Это происходит за счёт расширения узкого распределения ошибок геномов популяции, сконцентрированных вблизи порога n_c при $n < n_c$, до распределения Пуассона с сохранением среднего значения числа ошибок в популяции. При этом основное количество ошибок в геномах особей родителей переносится геномам явно

⁹ Kondrashov A.S. (1982) Selection against harmful mutations in large sexual and asexual populations. Genet. Res. 40: 325-332.

распадных особей с $n > n_c$, удаляемых из популяции¹⁰. Оставшаяся часть популяции остаётся со значительно меньшим количеством ошибок $n < n_c$.



Рис. 2. Останки популяции тлей на линии морского прибоя на Белом море.

Размножение многих биологических видов, в частности, всех млекопитающих и птиц, происходит только при взаимодействии геномов родителей и наличии рекомбинации. У этих видов распределение ошибок у особей следует распределению Пуассона со средним значением $n_c > \bar{n} \gg \mu$. Ширина распределения Пуассона равна $\sqrt{\bar{n}}$ (см. сноску¹¹), рис. 1а. Чтобы доля потомков, несущих запороговое количество ошибок $n > n_c$

¹⁰ Горшков В.Г. (1995) Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва, ВИНТИ, стр. 143, рис. 3.10.2.

¹¹ Учитывая, что $e^{\bar{n}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\bar{n}^n}{n!}$, для распределения Пуассона имеем

$$\bar{n}^2 \equiv \sum_{n=0}^{\infty} n^2 p(n) = e^{-\bar{n}} \left(\bar{n} \frac{\partial}{\partial \bar{n}} \right)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\bar{n}^n}{n!} = e^{-\bar{n}} \left(\bar{n} \frac{\partial}{\partial \bar{n}} \right)^2 e^{\bar{n}} = \bar{n} + \bar{n}^2. \text{ Поэтому ширина распределения равна}$$

$$\Delta n \equiv \sqrt{(n - \bar{n})^2} = \sqrt{\bar{n}^2 - \bar{n}^2} = \sqrt{\bar{n}}.$$

и подлежащих устранению из популяции, была существенно меньше единицы, необходимо, чтобы выполнялось неравенство $\sqrt{\bar{n}} \geq \mu$. В этом случае при сдвиге распределения на μ вправо, рис. 1б, лишь малая доля особей $\mu/n_c < 1/\mu$ нового поколения окажется за порогом $n_c > \bar{n}$. Величину $n_c = \mu^2$ следует рассматривать как минимальное экологическое допустимое число ошибок у нормальной особи.

6. Генетическое разнообразие и элитные особи

Рекомбинация родительских геномов обеспечивает стабильность генома на протяжении всего времени существования вида. Цена этой устойчивости – присутствие у всех без исключения особей популяции большого числа ошибок $n_c \geq \mu^2$, случайно распределённых по всему геному. Поэтому все особи популяции генетически различаются. Это различие, часто называемое генетическим разнообразием вида, в действительности характеризует разнообразие ошибок. У видов, живущих в экстремальных условиях, таких как белый медведь (арктический холод) и гепард (максимальная скорость бега) число допустимых ошибок генома n_c снижается до минимума. Такие виды представляются почти лишёнными генетического разнообразия, но это не уменьшает, а, напротив, увеличивает выживаемость вида в его естественной экологической нише.

При $\mu = 10$ вероятность появления особи полностью свободной от ошибок не превышает $e^{-n_c} = e^{-100} = 10^{-43}$. Для появления такой “элитной” особи необходимо накопить 10^{43} особей вида. Такое число особей не может накопить ни один вид за всё время своего существования. Ситуация не меняется для элитных особей с меньшим числом ошибок $n < n_c$. Например, чтобы получить особь с $n = n_c/2$ ошибками необходимо накопить 10^{20} особей, что также невозможно.

Чрезвычайно малая вероятность появления особи с малым числом ошибок генома делает бессмысленным содержание в геноме программы

распознавания любой элитной особи с $n < n_c$ в популяции. Поэтому любое обнаружимое отклонение от n_c воспринимается как распад и подлежит устранению из популяции. Все особи с $n < n_c$ являются одинаково конкурентоспособными. Эта особенность чётко проявляется у социальных видов. В естественной среде обитания *Homo sapiens* в популяции не было лидеров и поддерживались принципы равенства¹².

7. Генетическая эквивалентность подвидов, рас и национальностей

Каждый вид биоты распространён в своем ареале – карте обитания. Части ареала разрушаются в результате вулканической активности, оледенений, пожаров. После прекращения разрушений происходит заселение освободившихся территорий распадными особями с числом ошибок генома $n > n_c$, которые избежали уничтожения в неразрушенной части ареала и получили возможность производить потомство и создать новую популяцию в новом месте. Среди потомства этих распадных особей при наличии рекомбинации геномов родителей появляются нормальные особи. Эти нормальные особи имеют допороговое число ошибок $n \leq n_c$, которые локализованы в тех же участках генома, что и у родоначальников новой популяции. Через несколько поколений в новой популяции не останется особей с $n > n_c$. Но большинство сохранившихся ошибок у всех особей новой популяции совпадают с ошибками родоначальников новой популяции и отличаются от ошибок особей вида других частей ареала. Таким образом возникают подвиды, расы и национальности, отличающиеся друг от друга морфологическими и поведенческими характеристиками (цветом шерсти, оперения, цветом кожи, формой лица и пр.). Но популяции всех подвидов, рас и национальностей несут все элементы нормального безошибочного генома вида и остаются генетически эквивалентными друг другу. Они различаются только

¹² Knauff B.M. (1991) Violence and sociality in human evolution [and comments and replies]. *Current Anthropology* 32: 321-428.

локализацией ошибок с общим числом, не превосходящим допустимого порога n_c . Однако при скрещивании особей из двух удаленных друг от друга подвидов, рас и национальностей с полностью различными ошибками, число ошибок у потомства может оказаться близким к $2n_c$. Такое потомство окажется далеко за пределами нормы и может быть даже нежизнеспособным¹³.

8. Регуляция рождаемости и половой диморфизм

Генетическая рекомбинация необходима для существования видов с большим геномом. Однако при рекомбинации геномов родителей у многих видов каждый из родителей способен производить потомство (отсутствует деление на самцов и самок). При этом необходима немедленная ликвидация распадных особей потомства с $n > n_c$ сразу же после их обнаружения в популяции. Это соответствует регуляции смертности особей, информация о чем должна быть записана в геноме нормальных особей с $n \leq n_c$.

Регуляция смертности менее эффективна, чем регуляция рождаемости, при которой все особи нового поколения как с $n < n_c$, так и с $n > n_c$ остаются жить в популяции в течение всей естественной продолжительности жизни, но распадные особи с $n > n_c$ лишаются возможности производить потомство. При этом все особи продолжают выполнять необходимые функции по регуляции окружающей среды, каждая по своим возможностям. К тому же не требуются энергетические и физиологические затраты, необходимые для ликвидации особей с $n > n_c$.

Жизнь изобрела удивительный, хотя и всем известный способ регуляции рождаемости, избавившись от необходимости регуляции смертности. Этот способ состоит в модификации взаимодействия геномов двух родителей при рекомбинации, сводящийся к разделению всех

¹³ Горшков В.Г., Макарьева А.М. (1999) Правило Холдейна и соматические мутации. Генетика 35: 725-732.

особей вида на самцов и самок – половому диморфизму. Только самка способна производить потомство, но после разрешающего полового взаимодействия с самцом. Нормальная самка отвергает распадных самцов и имеет половую связь только с нормальным самцом. Нормальный самец отвергает распадных самок и имеет половую связь только с нормальными самками. Остаётся предотвратить половую связь между распадными самцами и самками. Это достигается активностью нормальных самцов, захватывающих все части ареала, пригодные для производства потомства нормальными самками, и активно подавляющих сексуальную активность распадных самцов. У многих млекопитающих в периоды размножения нормальные самцы образуют гаремы, в которых присутствуют нормальные и распадные самки. Хозяин гарема не спаривается с распадными самками и не допускает к спариванию с ними всех других самцов (нормальных и распадных). Образование гаремов не выявляет элитных особей в популяции, а эффективно исключает распадных особей из размножения.

Половой диморфизм обеспечивает регуляцию рождаемости только в отсутствие моногамии – образовании постоянной супружеской пары на всю жизнь. При моногамии теряются описанные выше преимущества полового диморфизма – деления популяции на самцов и самок. Существование моногамии обеспечивает выполнение рекомбинации, как у видов без полового диморфизма, у которых оба родителя (гермафродиты) способны к производству потомства. Только в этом отличие моногамии от партеногенеза, где каждая особь производит свое потомство независимо от других особей популяции. Но при моногамии, как в партеногенезе или в отсутствие полового диморфизма, возможна только регуляция смертности с удалением из популяции распадных моногамных пар. Генетически закрепленная моногамия встречается у некоторых видов птиц (лебеди, поморники), рис. 3.



Рис. 3. Семейство поморников на Белом море. Поморники образуют пары на всю жизнь и вместе выращивают потомство, каждая пара – на своём островке. Для осуществления конкурентного взаимодействия между парами в период размножения поморники регулярно прилетают к соседям и выясняют отношения в ритуальных полётах, сопровождающихся особыми громкими криками (“мяуканьем”). Пара поморников на фотографии живёт на своём островке много лет и откладывает яйца всегда в одну и ту же ямку.

9. Диплофаза и гаплофаза жизни

Большое количество n_c ошибок генома, неизбежно присутствующее у видов с половым размножением, нарушает стабильность биохимических реакций в организме. Ликвидация ошибочных биохимических реакций основана на уже изобретённой жизнью диплоидной фазе, необходимой для рекомбинации геномов родителей при размножении. Полный текст информации ДНК видов с большим геномом состоит из набора хромосом (томов) генетической информации. В диплофазе каждая хромосома входит в геном в двух экземплярах. Ошибки присутствуют в обоих экземплярах. Но ошибки распределены случайно и их совпадение в обоих экземплярах маловероятно. Биохимические реакции кодируются хромосомой без ошибок, которая лучше скоррелирована со всем набором биохимических реакций организма, чем хромосома с ошибками.

Если бы ошибки генома оставались на уровне n_c , определяемом гаплофазой, то практически все они не проявлялись бы в период диплофазе за счёт такого эффекта маскировки. При этом число распадных особей, подлежащих устранению из популяции, существенно сократилось бы. Оно бы определялось малым числом ошибок, случайно совпавших в обеих копиях диплоидного генома. Однако если диплоидный геном не подвергается чистке, то ошибки накапливаются до тех пор, пока число ошибок, совпадающих в обеих копиях генома, не станет равным n_c . В этом случае диплофаза теряет своё преимущество перед гаплофазой, так как степень нарушения биохимических реакции в гаплофазе и диплофазе становится одинаковой. При этом общее число ошибок в диплофазе (в двух гаплоидных копиях генома) нарастает до огромной величины, равной n_c^2 . Например, число ошибок в диплоидном геноме человека оценивается величиной в один миллион при $\mu \sim 30$. Чтобы диплофаза выполняла функцию стабилизации биохимических реакций, диплоидный геном, как и гаплоидный, необходимо непрерывно чистить¹⁴.

Гаплофаза жизни с одинарным набором хромосом присутствует у всех видов. Ошибки в гаплофазе проявляются явно во всех процессах жизни. Наиболее эффективное узнавание и устранение особей с ошибками генома происходит именно в гаплофазе. Некоторые мхи и водоросли проводят основную часть жизни в гаплофазе, а диплофаза используется для рекомбинации в кратком периоде размножения. У млекопитающих и птиц гаплофаза используется у сперматозоидов и яйцеклеток, которые могут жить только во внутренней окружающей среде организма. Один сперматозоид из многих миллионов оказывается способен оплодотворить яйцеклетку. Остальные распадные сперматозоиды исключаются из дальнейшей жизни. У так называемых гаплодиплоидных насекомых, к которым относятся пчелы, осы, муравьи, только самки и рабочие насекомые диплоидны по всем хромосомам.

¹⁴ Makarieva A.M. (2001) Variance of protein heterozygosity in different species of mammals with respect to the number of loci studied. *Heredity* 87: 41-51.

Самцы – трутни – гаплоидны по всем хромосомам. Каждый год производится огромное количество трутней, живущих во внешней (а не во внутренней) окружающей среде. Из них только один допускается к половой связи с самкой. Причём почти все сперматозоиды этого трутня нормальны и оплодотворяют многочисленные яйцеклетки матки¹⁵. Таким образом, трутни чистят геном всего вида ценой своих жизней в окружающей среде.

Существует также способ очистки диплоидного генома. Это близкородственное скрещивание. Так как число ошибок в геноме каждой особи родителей намного больше μ , то общее число ошибок в потомстве можно считать равным числу ошибок родителей. После рекомбинации и копирования генов, рис. 1, часть потомков близкородственного скрещивания будет содержать большое число явных неслучайно совпадающих ошибок в обеих копиях генома, чего не было у родителей. Все эти потомки будут распадными, вплоть до нежизнеспособности. Однако другая часть нормальных потомков будет содержать существенно меньшее количество ошибок, чем их нормальные родители. Таким образом, при чрезмерном количестве ошибок, накопленных у диплоидных особей, близкородственное скрещивание может поставить под угрозу выживание популяции. В естественных экологических условиях близкородственное скрещивание безопасно для выживания популяции и оказывается эффективным механизмом очистки диплоидного генома. На определённом этапе истории человечества близкородственное скрещивание было широко распространено в Египте, Иране и других популяциях^{16,17}.

¹⁵ Stürup M., Baer-Imhoof B., D.R. Nash, Boomsma J.J., Baer B. (2013) When every sperm counts: Factors affecting male fertility in the honeybee *Apis mellifera*. Behavioral Ecology 24: 1192-1198.

¹⁶ Huebner S.R. (2007) 'Brother-Sister' Marriage in Roman Egypt: a Curiosity of Humankind or a Widespread Family Strategy? Journal of Roman Studies 97: 21-49.

¹⁷ Scheidel W. (2010) Brother-Sister and Parent-Child Marriage Outside Royal Families in Ancient Egypt and Iran: A Challenge to the Sociobiological View of Incest Avoidance? Ethology and Sociobiology 17: 319-340.

10. Заключение

Все перечисленные выше особенности производства потомства имеют своей единственной целью сохранение, а не изменение упорядоченности уже существующей жизни. Генетическое разнообразие популяции вида с ДНК программой уменьшена до возможного минимума, не допускающего изменения вида на основе внутривидовой изменчивости. Все эти особенности были созданы для наиболее эффективного управления жизнью окружающей средой. Программой устойчивости существующей жизни является не производство новых видов, а сохранение достигнутого уровня организации.

Однако эволюцию невозможно остановить. У так называемых ретровирусов, к которым относится, например, ВИЧ, генетическая программа записана на одноцепочечной макромолекуле рибонуклеиновой кислоты (РНК). Молекулы РНК принципиально не могут содержать программы исправления ошибок, подобной той, что минимизирует скорость накопления ошибок при копировании ДНК. Ретровирус может встроить свою информацию в ДНК заражённого им организма. При этом происходит копирование информации с одноцепочечной РНК вируса на двухцепочечную ДНК вида хозяина. Число ошибок при таком копировании в миллион раз больше, чем при копировании ДНК, содержащей программу исправления ошибок. Встроившаяся в ДНК информация РНК вируса может вызвать тяжёлые нарушения генетической программы вида заражённого организма, искажая и разрушая все перечисленные выше программы сохранения устойчивости ДНК, вплоть до полного уничтожения вида. Но в ничтожно малом числе случаев встроившаяся в ДНК программа РНК вируса может содержать дополнительную информацию, необходимую для возникновения нового вида¹⁸. Анализ ДНК видов показывает, что до 10%

¹⁸ Горшков В.Г. (1990) Устойчивость и эволюция биологических видов и сообществ биосферы. ДАН СССР 311: 1512-1514.

ДНК генома состоит из вставок копий, построенных на программе РНК вирусов. Некоторые из этих вставок могут переписываться обратно на программу РНК и выходить в окружающую среду в виде РНК ретровирусов, которые могут оказаться болезнетворными для некоторых ДНК видов. Уничтожение вредоносных РНК вирусов в окружающей среде не ликвидирует ретровирусные заболевания и не остановит эволюцию.

Продолжение эволюции опасно возникновением видов-гангстеров, разрушающих пригодную для жизни окружающую среду. До появления человека виды-гангстеры возникали в ограниченных ареалах. После искажения окружающей среды в своих ареалах до непригодного для жизни самих видов-гангстеров состояния, они погибали вместе со многими другими видами в том же ареале. После чего в разрушенные ареалы (как и в случае извержений вулканов, оледенений, пожаров) заселялись нормальные виды, содержащие программу сохранения окружающей среды