

ровке и поставкам нефти Министерства нефтяной промышленности СССР. Эта компания контролирует перевалку 93% российской нефти и владеет 70 тыс. км нефтепроводов, в том числе экспортного направления. Начиная с 2006 г., ОАО “Транснефть” участвует в строительстве трубопроводных сетей, ориентированных на зарубежные рынки (“КТК” – I и II, “БТС” – I и II). Особо необходимо отметить, что в систему ОАО “Транснефть” входит важнейший геоэкономический элемент евразийского пространства – это система нефтепроводов “Дружба – I и II”, созданная в 1960-е гг. для доставки нефти из Волгоуральского нефтегазоносного района СССР в республику народной демократии Восточной Европы.

В заключение, необходимо отметить, что созданные советские структуры энергетики способствовали сближению Европы и России. Оно было обусловлено энергетической политикой⁴, а в более общем смысле – “энергетической геоэкономикой” (подробнее⁵). В соответствии с XII докладом в рамках энергетического диалога “РФ–Европейский Союз”, подготовленным в 2011 г., импорт углеводородов из РФ составил: 34% импорта газа ЕС; 23% общего потребления газа в ЕС; 33% импорта сырой нефти ЕС; 30% общего объема потребления сырой нефти ЕС; 23% импорта нефтепродуктов ЕС. В страны ЕС поставляется 88% общего объема экспорта нефти из России и 70% общего объема экспорта газа⁶. Большая часть поставляемых ресурсов в Европу поступает через широтные советские трубопроводы – “Дружба” (80 млн т в год или 2/5 нефтяного экспорта РФ) и “Союз” (25 млрд м³ в год или 1/7 газового экспорта РФ). Общая стоимость поставляемых углеводородов из России – около 50 млрд долл. в год, что составляет 10% национального экспорта РФ.

⁴ Lachininsky S.S. *Russia's energy policy in the Baltic Region: a geoeconomic approach* // *Baltic Region*. 2013. Т. 16. № 2.

⁵ Жизнин С.З. *Российская энергетическая дипломатия и международная энергетическая безопасность (геополитика и экономика)* // *Балтийский регион*. 2010. № 1.

⁶ *ЭнергодIALOG Россия – ЕС: 12-й обобщ. докл. М., 2011 г.*

**Кандидат физико-математических наук А.М. МАКАРЬЕВА,
доктор физико-математических наук В.Г. ГОРШКОВ
(Петербургский институт ядерной физики)**

Часть I. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАСПАДА ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ

1. Введение.

Процессы в неживой и живой природе

Развитие цифровых технологий сопровождается ростом объемов и потоков информации, которую необходимо хранить и обрабатывать для поддержания нормального функционирования цивилизации. С интенсификацией информационных потоков увеличивается уязвимость цивилизации в отношении возможных информационных потерь, которая в эпоху четвертой индустриальной революции рассматривается как одна из основных угроз.

Растущий интерес вызывают принципы информационной безопасности в живой материи. Жизнь на Земле представляет собой алгоритм, не прерывающийся в течение четырех миллиардов лет. При этом жизнь оперирует носителями памяти наномасштаба, основным препятствием для технологического развития которых является именно нестабильность хранения данных. Какая информация должна быть записана в живых объектах, чтобы обеспечить столь беспрецедентную устойчивость? В этой статье мы проанализируем основные характеристики жизни не с позиции изменчивости, которая до сих пор является основой рассмотрения живых организмов в биологии, а позиции информационной устойчивости.

Под воздействием энергии солнечного излучения на земной поверхности возникают высокоупорядоченные физиче-

ские процессы (грозы, ураганы, смерчи, шаровые молнии) и существует жизнь. Чем выше упорядоченность физического процесса, тем реже он возникает. Время жизни упорядоченных физических процессов ограничено. Локально возникнув в единственном числе, они подвергаются распаду и длительное время не существуют. Среди физических упорядоченных явлений есть процессы, способные к самовоспроизводству, например, автокаталитические цепные реакции. Экспоненциальный рост числа объектов физического самовоспроизводства приводит к взрывному характеру расхода подводимой начальной энергии и вещества и, как следствие, к прекращению процесса самовоспроизводства.

В отличие от процессов неживой природы жизнь характеризуется сверхвысокой организацией. Вероятность спонтанного возникновения жизни равна нулю, что впервые было доказано в опытах Пастера. Согласно палеоданным, ни один биологический вид биосферы не возникал дважды за всё время существования жизни. Жизнь может продолжаться только за счёт самовоспроизведения уже существующей жизни. Но, в противоположность самовоспроизводящимся физическим процессам, жизнь никогда не допускала взрывного увеличения интенсивности биологических процессов, которое могло бы привести к истощению запасов потребляемых веществ в окружающей среде. Сохранение пригодной для жизни окружающей среды записано в совокупной генетической программе биологических видов, образующих различные экологические системы. Таким образом, жизнь является процессом, частота возникновения которого равна нулю, а время существования стремится к бесконечности.

2. Квантовая природа распада программы жизни

Сверхвысокой организации жизни соответствует сверхвысокая скорость распада генетической программы этой организации, записанной на макромолекулах ДНК. В живой клетке различные части макромолекул ДНК постоянно подвергаются разрушительным воздействиям. Для уменьшения скорости стирания информации в молекулах ДНК за-

писаны сложные программы репарации ДНК, которые распознают большинство разрушений и исправляют их. Одним из первооткрывателей клеточных программ репарации ДНК был российский радиобиолог В. И. Корогодин, работавший в ОИЯИ в Дубне.

Генетическими «буквами» в ДНК являются четыре различных нуклеотида, объединённые в двухцепочечной молекуле ДНК в комплементарные пары. Дублирование программы ДНК в двух комплементарных цепочках (двойной спирали) позволяет включить в информацию ДНК программы исправления ошибок при копировании на основе проверки вновь синтезируемой цепочки на комплементарность с исходной цепочкой. Эти программы исправления ошибок в двухцепочечных ДНК уменьшают в миллион раз число ошибок, появляющихся при копировании одноцепочечных носителей генетической информации, используемых, например, РНК-вирусами.

Каждый нуклеотид представляет собой стабильную сложную молекулярную структуру. Для сравнения, в русском алфавите 33 буквы, в азбуке Морзе – две (точка и тире). Основными катализаторами биохимических реакций, происходящих в живых организмах, являются белки, представляющие собой полимеры, построенные из 20 основных аминокислот. Русский физик-теоретик Георгий Гамов, работавший после окончания Ленинградского университета в Радиевом институте, первым описал используемую жизнью возможность переписывания информации с ДНК на белковые молекулы, когда каждой из 20 аминокислот соответствует определённая комбинация («слово») из трёх нуклеотидов¹. Однако информация ДНК, кодирующая определённые белки, составляет всего порядка 1% от всей информации ДНК. Значение большей части генетической информации не раскодировано и остаётся неизвестным.

При размножении организмов информацию ДНК необходимо копировать, что сопряжено с ошибками. В силу универсальности структуры ДНК и биохимии клетки для многих организмов скорость информационного распада (накопления

¹ Segré G. *The Big Bang and the genetic code. Nature. 2000. 404: 437.*

ошибок при копировании) является универсальной величиной ν порядка 10^{-10} на генетическую букву (нуклеотидную пару) на деление клетки. Число делений k в зародышевой линии, образующих клетки следующего поколения, имеет порядок десяти², $k \sim 10$. При величине генетической программы – генома – M порядка 10^9 букв, характерной для многих видов, в среднем возникает $\mu = M\nu k \sim 1$ ошибка на весь геном в зародышевой линии взрослой особи, готовой к дальнейшему воспроизводству. В подавляющем большинстве случаев этот распад не сопровождается гибелью потомства.

Природа распада молекулярных структур аналогична квантовой природе радиоактивного распада: по истечении времени полураспада остаётся половина молекул, тождественных первоначальному, то есть, не содержащих ни одной “ошибки”. Основные не распадающиеся состояния атомов и молекул всегда тождественны – так, например, молекулы воды в основном состоянии не различимы. В рассматриваемом выше схематичном примере ($\mu \sim 1$) среднее время полураспада приблизительно равно времени воспроизводства особей вида. При этом только половина следующего поколения содержит ошибки в генетической программе. Другая половина не содержит ошибок и имеет генетическую программу, тождественную особям предшествующего поколения.

Квантовая природа распада молекулярных структур, при котором всегда остаётся определённое число не распавшихся нормальных молекулярных структур (в рассматриваемом случае половина), тождественных предыдущему нормальному поколению, определяет возможность сохранения упорядоченности жизни в течение неограниченного времени, стремящегося к бесконечности, при условии ликвидации распавшихся копий генетической программы в каждом поколении. Если бы молекулы не обладали квантовым свойством тождественности, копирование ДНК без потери информации было бы принципиально невозможно.

² Горшков В.Г., Макарьева А.М. Зависимость гетерозиготности от массы тела у млекопитающих. Доклады РАН. 1997. Т. 355. С. 418–421.

3. Стабилизация программы жизни

Что такое хорошо и что такое плохо?
В.В. Маяковский

Итак, жизнь сталкивается с важнейшей проблемой узнавания жизнеспособных распадных особей для предотвращения копирования их генетической информации (устранения из популяции). Для этого используется уникальный, не встречающийся в неживой природе, способ. Каждый вид образует популяцию множества одинаковых особей данного вида. Все виды дискретны: особи каждого вида чётко отличимы от особей другого вида. В природе не существует видов, состоящих из одной особи. Особи живут независимо друг от друга, и исчезновение любой особи не нарушает структуру популяции и взаимодействие оставшихся особей с окружающей средой. Отсюда следует, что взаимодействие особей между собой является конкурентным. В результате этого взаимодействия происходит определение распадной особи, обладающей меньшей конкурентоспособностью и подлежащей устранению из популяции. Конкурентное взаимодействие, записанное в генетической программе вида, должно быть агрессивным, не зависящим от ресурсов окружающей среды и преследующим только цель обнаружения распадной особи и устранение её из популяции.

Таким способом поддерживается упорядоченность биологических объектов на любом уровне, при этом под особью можно понимать клетку у одноклеточных, многоклеточный организм у многоклеточных видов, скоррелированную группу особей у социальных животных и, наконец, скоррелированное локальное экологическое сообщество видов в экосистемах суши и океана. Генетическая норма любого вида осмыслена только в рамках экологического сообщества, сохраняющего пригодную для жизни всех видов окружающую среду.

Как и любое измерение, конкурентное взаимодействие обладает конечной разрешающей способностью³. Обнаружение распадной особи происходит при на-

³ Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., 1995; Makarieva A.M. Variance of protein heterozygosity in different species of mammals with respect to the number of loci studied. *Heredity*, 2001. 87.

коплении числа распадных изменений генетической программы, превышающего определённое пороговое значение. За этим порогом особь, сохраняя жизнеспособность, определяется как распадная и удаляется из популяции. Особи с допороговым количеством ошибок считаются нормальными. Чем дольше живёт распадная половина молодого поколения, тем точнее определяется степень распадности особи в ходе разнообразных взаимодействий с другими особями популяции. С другой стороны, чем раньше устраняется распавшаяся половина нового поколения, тем меньшая доля распадных особей стационарно присутствует в популяции.

4. Половой диморфизм

Если любая особь вида способна производить потомство самостоятельно, без какого-либо взаимодействия с другими особями (партогенез), то воспрепятствовать копированию распавшейся генетической информации можно только за счёт ликвидации распадной особи. Однако каждая взрослая особь, на построение которой затрачено определённое количество ресурсов экосистемы, представляет собой значительную ценность и может выполнять в экосистеме полезные функции. Поэтому значительно более эффективным является не ликвидация, а запрет размножения распадной особи. При этом все взрослые особи продолжают своё существование в популяции. Жизнь открыла уникальный способ устранения распавшихся копий генетической программы путём запрета воспроизводства взрослых распадных особей при сохранении нормальной продолжительности их жизни.

Принцип этого уникального способа запрета размножения распадных особей без их уничтожения состоит в открытии полового диморфизма – делении всей популяции на самцов и самок. Самцы не способны к размножению. Самки способны к размножению, но только после разрешающего полового контакта с самцом. Конкурентное взаимодействие переносится на половые взаимоотношения самцов и самок. Нормальные самки узнают и отвергают распадных самцов и имеют половые связи только с нормальными самцами. Нормальные самцы узнают и отвер-

гают распадных самок и имеют половые связи только с нормальными самками. Остаётся предотвратить возможность половых связей между распадными самцами и самками. Это достигается захватом нормальными самцами всех индивидуальных территорий в пределах ареала, на которых нормальная самка может производить потомство, и лишения распадных самцов собственных территорий, сексуальной активности и половых связей. При этом все взрослые особи продолжают существовать в популяции и могут при случайной гибели размножающихся особей занять освободившиеся территории и продолжить воспроизводство вида.

У социальных млекопитающих в периоды спаривания проблема выявления распадных особей решается путём выстраивания иерархической структуры популяции самцов. Доминантный самец получает статус наиболее конкурентоспособной особи по основным жизненно важным характеристикам. Этот самец образует гарем, включающий всех самок, с которыми он способен иметь половые связи. Доминантный самец определяет, какие самки распадны и лишает их возможности воспроизводства. Остальных самцов он не подпускает к гарему и защищает свой доминантный статус от всех претендующих на этот статус самцов. Так как значительная часть самцов популяции являются нормальными, то доминантный самец не обязательно является особью с наименьшим допороговым количеством ошибок генома, его выбор в значительной мере является случайным. Среди отстранённых от гарема нормальных самцов отсутствует равенство и выстраивается иерархическая структура по случайным, не имеющим к допороговой степени распадности характеристикам. При гибели доминантного самца его место немедленно занимает другой нормальный самец из группы самцов, продолжающих жить в популяции, но лишённых возможности половых связей с самками.

Отметим, что в социальных группах *Homo sapiens*, живших в естественной среде при малой плотности численности, иерархической структуры не существовало. Все самцы в группе были равными. Это на протяжении большей части истории человечества радикально отличало социальные группы *Homo sapiens* как от приматов, так и от более поздних сообществ людей,

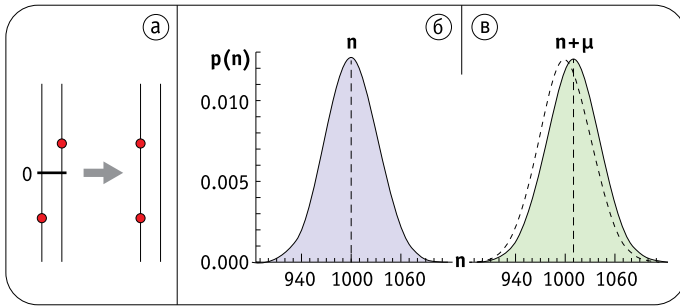


Рис. 1. Рекомбинация и генетическая стабилизация.

(а) Две молекулы ДНК, получаемые особью от двух родителей, содержат ошибки (красные точки) в разных местах. Эти молекулы перекрещиваются в точке *O* и обмениваются частями так, что после рекомбинации обе ошибки оказываются только в одной копии. При особом (мейотическом) делении такой клетки получатся два сперматозоида (или яйцеклетки), одна из которых несёт обе ошибки, а другая – свободна от ошибок. (б) Распределение Пуассона со средним $\bar{n} = 1000$. (в) Сдвиг распределения на $\mu = 10$, при этом доля распаднёт особей (заштрихована красным) определяется величиной n_c , для которой $\sum_{n > n_c} np(n) = \mu \gg 1$.

Одним из первых исследователей эффектов расплывания генетического груза, изображённого на рис. 1б,в, стал российский биолог А. С. Кондрашов*, работавший в Пущино Московской области.

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

где рост плотности популяции сопровождался появлением иерархической структуры, рабства и межгрупповой агрессии⁴.

5. Половое размножение и рекомбинация как способ генетической стабилизации

У организмов, имеющих большой геном *M* и большое число делений *k* число мутаций на поколение $\mu = M\mu k$ может существенно превосходить единицу. (У человека, например, только для ошибок, затрагивающих одну “букву”, оно составляет несколько десятков⁵.)

⁴ Knauff B.M. *Violence and sociality in human evolution [and comments and replies]. Current Anthropology.* 1991. 32: 321–428.

⁵ Drake J.W. et al. Rates of spontaneous mutations. *Genetics.* 1998. 148: 1667–1686.

В этом случае величина μ определяется многими каналами распада с различными временами полураспада для разных уровней организации генетической информации⁶. Например, утроение 21 хромосомы, связанное с синдромом Дауна, происходит с частотой один на семейсот. При $\mu \gg 1$ определение скорости распада представляет собой непростую проблему.

Доля особей в новом поколении, которые не содержат ошибок в своём геноме, экспоненциально падает с ростом μ . Для $\mu = 10$ эта доля составляет $\exp(-10)$ или одну двадцатидвухтысячную. Теплокровные млекопитающие и птицы не способны произвести такое количество потомства за жизнь, чтобы оставить хотя бы одного потомка с нераспавшейся генетической программой. Предотвращение генетического распада у таких видов является сложной проблемой.

Эта проблема была решена с открытием жизнью полового размножения (отметим, что половое размножение не обязательно подразумевает перманентное деление всех особей на самцов и самок). У всех видов, размножающихся половым путём, при размножении происходит обмен частями генетического материала (генетическая рекомбинация) между различными копиями генома родителей. В результате случайной рекомбинации ошибки, содержащиеся в этих частях у родительских особей, могут сосредотачиваться у одной молодой, явно распаднёт особи, а другая молодая особь окажется вовсе лишённой ошибок, рис. 1а.

При такой “перетряске” генетического материала присутствующие в геноме родителей ошибки следуют распределению Пуассона, рис. 1б: при среднем числе ошибок на геном \bar{n} доля особей $p(n)$, содержащих *n* ошибок ($0 \leq n < \infty$), составляет $p(n) = \bar{n}^n \exp(-\bar{n})/n!$. В геноме потомства к ошибкам генома родителей добавляется ещё μ ошибок, так что распределение сдвигается вправо, рис. 1в. Чтобы устранить эти ошибки из популяции, необходимо предотвратить размно-

⁶ Whittaker J.C. Likelihood-based estimation of microsatellite mutation rates. *Genetics.* 2003. 164: 781–787.

жение наиболее распадающихся особей с числом ошибок, превышающих критический порог n_c . При $\mu \ll n_c^{1/2}$ и $n_c \gg 1$ доля таких особей составит всего $\mu/n_c \ll 1$, рис. 16. Например, при $\bar{n} \sim n_c \sim 10^6$ (среднее число ошибок достигает одного миллиона, как у человека) и при $\mu \sim 100$, доля особей с числом ошибок, превышающим n_c , составит всего 0.01%, или одну десяти-тысячную.

Однако, хотя с использованием рекомбинации виды с $\mu \gg 1$ можно стабилизировать, расплатой за большое μ (то есть большую генетическую информацию M) в этом случае служит большое число ошибок $\bar{n} \gg \mu^2$, постоянно присутствующее в геноме всех без исключения особей. Иными словами, стабилизация генома видов с большим μ возможна лишь с очень большой погрешностью. Например, в геноме человека ошибки встречаются в среднем через каждые две тысячи генетических букв⁷. Но жизнь изобрела способ избежать нестабильности биохимических реакций, которая могла бы возникнуть из-за чрезмерного количества ошибок.

6. Диплоидность и гаплоидность

Двойные и одинарные наборы хромосом. Геном всех видов биоты с большой величиной генома M и большой скоростью распада μ состоит из хромосом ("томов" генетической информации). Набор большинства хромосом диплоидный, то есть геном содержит две одинаковые хромосомы, несущих одну и ту же информацию. Диплоидность уменьшает проявление распадности особи, ибо вероятность распадного изменения в одном и том же месте у двух одинаковых хромосом пропорциональна произведению вероятностей в каждой хромосоме и ничтожно мала. Ошибки в распадной хромосоме не проявляются в клетке за счёт доминирования нормальной хромосомы, не содержащей ошибки. Нормальная хромосома всегда лучше скоррелирована с остальным геномом, чем хромосома с ошибкой.

Самцы млекопитающих имеют две различные (гаплоидные) половые хромосомы X и Y, которые входят в геном сам-

ца в единственном экземпляре. Самки млекопитающих имеют две одинаковые (диплоидные) половые хромосомы (X, X). В гаплоидных половых хромосомах самцов млекопитающих любые ошибки проявляются явно. Накопленные самками ошибки в X хромосомах приводят к увеличению смертности и уменьшению продолжительности жизни самцов, чистящих X хромосомы самки ценою своей жизни. В то же время Y хромосома самца должна быть мала, чтобы иметь малую скорость распада⁸. Она является хорошо очищенной самими самцами и содержит существенно меньше ошибок, чем остальные хромосомы. Кроме того, Y хромосома содержит дополнительную сверхпрограмму вида, не содержащуюся у самок.

У птиц непарные половые хромосомы (X, Z) содержат самки. Самки, а не самцы, имеют дополнительную информацию в хромосоме Z, которой не имеют самцы. Это, в частности, позволяет самкам строить гнёзда⁹ и производить другие сложные действия, которые не способны самостоятельно выполнять самцы. И у птиц именно самки, а не самцы, как у млекопитающих, характеризуются повышенной смертностью¹⁰.

Гаплодиплоидные насекомые. У гаплодиплоидных насекомых (к которым относятся муравьи, осы, пчёлы) самки (королевы) и бесплодные рабочие особи диплоидны по всем хромосомам. Самцы же – гаплоидны по всем хромосомам и уязвимы к любым ошибкам генома, которые немедленно проявляются. Поэтому у этих насекомых продуцируется огромное количество самцов – трутней, среди которых большинство – распадные особи. Эти распадные самцы, несущие ошибки, накопленные самкой, гибнут до спаривания. И только самец, лишённый ошибок за порогом чувствительности, спаривается с самкой.

Диплоидные рабочие особи скоррелированы между собой в пределах социальной структуры, как клетки и органы

⁸ Горшков В.Г., Макарьева А.М. Правило Холдейна и соматические мутации. *Генетика*. 1999. 35: 725–732.

⁹ Soler J.J., Møller A.P., Soler M. Nest building, sexual selection and parental investment. *Evolutionary Ecology*. 1998. 12: 427–441.

¹⁰ Donald P. F. Adult sex ratios in wild bird populations. *Ibis*. 2007. 149: 671–692.

⁷ The International SNP Map Working Group. A map of human genome sequence variation containing 1.42 million single nucleotide polymorphisms. *Nature*. 2001. 409: 928–933.



Рис. 2.

Выращивание потомства поморниками.

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”).

в многоклеточном организме. Они не конкурируют друг с другом. Ликвидация распадных рабочих особей внутри социальной структуры невозможна, как и ликвидация органов многоклеточной особи. В течение жизни королева производит десятки поколений рабочих особей. Если бы рабочие особи были способны производить потомство, то ошибки генома социальной структуры многократно накапливались и в сотни раз превосходили бы однократные ошибки, содержащиеся в геноме королевы.

Гаплофаза и диплофаза жизни. Практически все виды живых организмов проводят часть жизни в гаплоидном состоянии сперматозоидов и яйцеклеток – гаплофазе. В этой фазе каждая клетка несёт только один набор хромосом. Это наиболее уязвимая к явному проявлению ошибок генома фаза жизни, в течение которой определение распадных особей происходит наиболее эффективно. Некоторые растения (мхи) для жёсткой очистки генома от ошибок проводят основной период жизни в гаплофазе, а диплофаза, и связанная с ней рекомбинация, используются в более кратком периоде размножения особей. Млекопитающие, птицы и рептилии в каждом акте рождения производят ограниченное число

яиц или детёнышей. Гаплофаза жизни этих животных протекает только во внутренней окружающей среде взрослого организма. Вся распадность в гаплофазе проявляется явно, и самцы при каждом акте спаривания вводят в тело самки до полумиллиарда сперматозоидов, и только один, наиболее свободный от ошибок генома, внедряется в яйцеклетку, образуя диплофазу зародыша.

У гаплодиплоидных насекомых основной отбор распадных особей происходит в процессе жизни гаплоидных самцов (трутней) во внешней окружающей среде. Нормальный самец при спаривании с королевой вводит в её тело ограниченное количество нормальной спермы, так что почти каждый сперматозоид оплодотворяет яйцеклетку королевы. В отличие от млекопитающих, гаплодиплоидные насекомые характеризуются исключительно высоким качеством спермы¹¹.

Полигамия и моногамия. Гаплоидность – гетерогаметность – половых хромосом самцов млекопитающих и самок птиц уменьшает продолжительность жизни гетерогаметных нормальных полов. В результате, число нормальных половозрелых самцов млекопитающих и самок птиц всегда меньше, чем число нормальных гомогаметных полов, диплоидных по половым хромосомам. Моногамия поэтому у млекопитающих становится бессмысленной и заменяется полигамией, когда один нормальный самец имеет половые связи с несколькими нормальными самками.

Гетерогаметность самок птиц вызывает облигатную моногамию у многих птиц (лебеди, поморники и др.), когда образующиеся половые пары сохраняются в течение всей жизни (рис. 2). В этом случае конкурентное взаимодействие происходит между различными парами, приводящее к удалению из популяции (уничтожению) распадных пар вместе

¹¹ Stürup M., Baer-Imhoof B., Nash D.R., Boomsma J.J., Baer B. When every sperm counts: Factors affecting male fertility in the honeybee *Apis mellifera*. *Behavioral Ecology*. 2013. 24: 1192–1198.

с их развивающимся потомством. При подобном поведении половой диморфизм как средство конкурентного взаимодействия теряет смысл.

Заключение

Уменьшение количества ошибок ν при копировании ДНК до величины, существенно меньшей 10^{-10} на нуклеотид на деление, по-видимому, невозможно. Поэтому необходимость записать в геноме живого организма большое количество информации (то есть увеличение размера генома) неизбежно приводит к увеличению числа ошибок при копировании и создаёт серьёзную проблему информационной стабилизации. Мы видим, что важнейшие особенности жизни, такие как повсеместное распространение полового размножения с генетической рекомбинацией, полового диморфизма и диплоидности являются решением именно этой проблемы.

Величина генома биологических видов неограниченно возрастать не может. Генетическая информация жизни, по-видимому, достигла своего возможного максимума в процессе эволюции и больше не увеличивается. Прогресс человечества основан на накоплении культурной информации, которая не должна, однако, приходиться в противоречие с генетической информацией человека и всей жизни.

*(Окончание
в следующем номере)*



ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Кандидат географических наук

С.Н. ГОЛУБЧИКОВ

(Институт региональных исследований
и городского планирования

НИУ “Высшая школа экономики”),

Я.С. НАГРЕБЕЛЬНЫЙ

(Московский государственный
университет леса)

Современные проблемы – наследие прошлого

Лесные староосвоенные ландшафты Калужской области сотворены трудом многих поколений людей. Причём каждое поколение переделывало ландшафты, доставшиеся от предыдущего поколения, приспособлялось к уже очеловеченной лесной природе и вносило свой вклад в её дальнейшее преобразование.

Огромный ущерб калужским лесам нанесли рубки после отмены крепостного права в 1861 г. Анализ динамики породного состава за период 1850–1927 гг. показывает, что удельный вес хвойных пород уменьшился только в 1890–1927 гг. в 2.3 раза, в том числе по ели – в 4 раза, широколиственных – в 6 раз, хвойно-широколиственных в 2.5 раза. В то же время удельный вес лиственных пород увеличился

ИНФОРМАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЖИЗНИ¹

Кандидат физико-математических наук А.М. Макарьева,
доктор физико-математических наук В.Г. Горшков,
(Петербургский институт ядерной физики)

Часть II.

ЭВОЛЮЦИЯ И ПРОГРЕСС

В первой части мы рассмотрели механизмы обеспечения устойчивости генетической информации жизни. Рассмотрим теперь взаимодействие между генетической информацией вида *Homo sapiens* и культурной информацией, на которой основана цивилизация.

1. Эволюция биологических видов

Согласно палеоданным, каждый биологический вид имеет ограниченное время существования порядка нескольких миллионов лет. Вымирание старого вида компенсируется возникновением нового так, что число видов в биосфере сохраняет неизменный порядок величины. При этом возникший новый вид экологического сообщества не ухудшает устойчивости пригодной для жизни всех видов окружающей среды. Дефектные сообщества с новыми видами, разрушающими окружающую среду, вытесняются нормальными сообществами, не содержащими видов-разрушителей. Этот процесс составляет наблюдаемую эволюцию видов.

Продолжительность существования видов не зависит от численности популяции и, следовательно, от скорости генерации изменений молекул ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты, носителей генетической информации большинства видов биоты) внутри вида². Это означает, что эволюция, то есть появ-

ление новых осмысленных подпрограмм взаимодействия с окружающей средой, может быть объяснена только за счёт взаимодействия видов биоты с видами, программа которых не записана в ДНК. К таким видам относятся ретровирусы, генетическая программа которых записана на молекулах РНК (рибонуклеиновой кислоты). Существенное отличие молекул РНК от молекул ДНК состоит в том, что скорость накопления ошибок при копировании РНК в миллион раз больше, чем у ДНК. Поэтому любое упорядоченное свойство программы вирусной РНК, включая способность вирусов убивать заражаемые ими организмы, распадается за короткое время (например, вредоносность вируса иммунодефицита человека быстро уменьшается со временем³).

Генетическая программа ретровирусов способна производить свою ДНК копию и встраиваться в программу ДНК заражаемых организмов. Значительная часть генома высших организмов, порядка 10% для позвоночных, включая человека, представляет собой вставки геномов ретровирусов. Среди множества распадных изменений, происходящих при копировании РНК вирусов, крайне редко, но встречаются изменения, которые изменяют программу ДНК заражённых организмов в направлении роста конкурентоспособности, приводя к образованию нового вида биоты. Так, мышление, приведшее к

¹ Окончание. Начало см. Энергия... 2016. № 3.

² Makarieva A.M., Gorshkov V.G. On the dependence of speciation rates on species abundance and characteristic population size. *Journal of Biosciences*. 2004. V. 29. P. 119–128.

³ Payne R. et al. Impact of HLA-driven HIV adaptation on virulence in populations of high HIV seroprevalence. *PNAS*. 2015. V. 111. P. E5393–E5400.

появлению *Homo sapiens*, может быть обусловлено активностью фрагментов геномов ретровирусов, включившихся в геном человека⁴.

Согласно палеоданным, новые виды появляются внезапно, после миллионов лет эволюционного стазиса⁵, в течение которого никаких изменений не происходит. Эволюция на основе получения генетической информации от РНК вирусов объясняет не только одинаковую скорость видообразования у многочисленных одноклеточных и малочисленных многоклеточных организмов, но также и наблюдаемую дискретность всех видов, то есть отсутствие переходных форм между родственными видами и внезапность возникновения нового вида. Скорость генерации новой генетической информации ретровирусами выступает, таким образом, универсальным лимитирующим фактором эволюции видов в биосфере⁶.

Эволюция видов не имеет отношения к культурному прогрессу человеческой популяции. Этот прогресс основан на накоплении культурной информации при сохранении неизменной генетической информации вида *Homo sapiens*.

2. Принцип экспансии жизни

Жизнь охватывает всю земную поверхность. Каждый вид распространён в пределах своего ареала (карты обитания), где существует окружающая среда, пригодная для жизни особей вида. При постоянстве условий окружающей среды ареалы всех видов не претерпевают изменений. Части ареала подвергаются разрушительным внешним воздействиям (оледенение, извержение вулканов, цунами, ураганы, смерчи), которые уничтожают жизнь. После прекращения катастрофических разрушений жизнь должна заселить разрушенные части ареала. Это происходит



Рис. 1.

путём экспансии – способности жизни к экспоненциальному размножению. В процессе экспансии невозможно устранение из популяции распадных особей, отчего происходит многократное накопление ошибок генома и падение уровня организации вида. Лишь после полного захвата популяцией разрушенной части ареала вида включается конкурентное взаимодействие, удаление из популяции распадных особей и восстановление уровня организации вида. Поэтому экспансия должна происходить с максимальной скоростью.

В общем случае нормальная жизнь распространяется во все доступные для жизни части ареала. При этом главным условием устойчивого существования вида является сохранение постоянной плотности численности популяции любого вида и величины собственной индивидуальной территории особи, которая записана в нормальной генетической программе вида. Поддержание нормальной плотности численности обеспечивается сложным генетически запрограммированным поведением особей вида. Птицы маркируют индивидуальную территорию пением (рис. 1).

3. Генетическая эквивалентность рас и национальностей

При экспансии вида разные части ареала захватываются потомками особей, несущих ошибки в разных частях генома. После завершения экспансии включается конкурентное взаимодействие, и число ошибок генома сокра-

⁴ Fasching L. et al. *TRIM28 Represses Transcription of Endogenous Retroviruses in Neural Progenitor Cells. Cell Reports. 2015. V. 10. P. 20–28.*

⁵ Стазис – (от греч. *stasis неподвижность*), равновесное состояние.

⁶ Горшков В.Г. *Устойчивость и эволюция биологических видов и сообществ биосферы. Доклады АН СССР. 1990. Т. 311. С. 1512–1514.*

щается до величины, определяемой конкурентным взаимодействием. При этом допустимые ошибки оказываются преимущественно локализованными в тех частях генома, где они находились у родоначальников популяции. Поэтому подвиды, расы и национальности имеют явные морфологические различия между собой (размер тела, цвет шерсти, оперения и кожи, черты лица и пр.). Но в естественной окружающей среде все подвиды, расы и национальности остаются генетически эквивалентными с числом ошибок генома, не превосходящим порога обнаружения распадности особи. Это означает, что в пределах точности, свойственной каждому виду, все популяции одного вида сохраняют одну и ту же упорядоченную видовую информацию (см. часть I, раздел 4).

4. Биологическая природа человека

Естественной окружающей средой для человека являются тропические экосистемы с высокой продуктивностью, в частности, речные и морские побережья покрытых лесом тропических речных бассейнов. Площадь индивидуальной территории человека, закреплённая в его генетической программе, имеет порядок 4 км². Данные антропологии, включая исследование современных популяций, показывают, что в социальных группах нецивилизованных людей насчитывается несколько десятков членов. При естественной для *Homo sapiens* плотности численности людей, не превышавшей порядка одного человека на км², отсутствуют межгрупповая агрессия (войны), массовые убийства и рабство⁷.

В отличие от иерархической структуры многих социальных млекопитающих, в социальных группах, живущих в естественной экологической среде людей, отсутствуют лидеры и поддерживаются этические и моральные принципы равенства. Как обсуждалось в разделе

3 части I, в отсутствие иерархической структуры поддержание генетической устойчивости популяции возможно только путём физической ликвидации неконкурентоспособных особей (то есть на основе регуляции смертности, а не рождаемости). Поэтому значительная часть (35–50%) людей в нецивилизованных сообществах умирает насильственной смертью⁸, наиболее часто в межличностных конфликтах, связанных с выбором полового партнёра.

Эти характеристики нецивилизованных сообществ *Homo sapiens* показывают, что принципы равенства, возникшие вновь сравнительно недавно в культуре современного общества, закреплены в нормальной генетической программе человека. Эта программа диктует не продвижение в рейтинге иерархической структуры, как у других социальных млекопитающих, а стремление не выпасть из общества равных друг другу особей.

5. Рост численности людей и прогресс цивилизации

Способность человека использовать культурные навыки, накопленные предшествующими поколениями, позволила распадным особям человека ускользнуть от конкурентного взаимодействия с нормальными особями, покинув естественный ареал. В последние тысячелетия происходила непрерывная экспансия человека на территории вне своего ареала, а также экспоненциальный рост плотности численности популяции⁹. Этот рост является следствием изменения источников потребляемой популяцией человека энергии на основе меняющейся культурной информации. Это явление, не существовавшее ни у одного вида биоты на всём периоде существования жизни, стало называться прогрессом

⁸ *Pinker S. The better angels of our nature: why violence has declined. Viking Penguin. 2011.*

⁹ Популяционные взрывы внутри своего ареала (саранчи, короёдов, тли и др.) ликвидируют неправильно функционирующие экологические сообщества. Эти популяционные взрывы происходят внутри естественного ареала вида и кончаются практически полным вымиранием всех участников взрыва.

⁷ *Knauff B.M. Violence and sociality in human evolution. Current Anthropology. 1991. V. 32. P. 391–428.*

человеческой цивилизации. Причины его состоят в следующем.

Продуктивность биоты тропический зоны – естественного ареала человека – в несколько раз выше, чем продуктивность умеренной зоны. Доля съедобных для человека растительных продуктов вне естественного ареала человека существенно ниже, чем в естественном ареале. Поэтому при выходе человека за пределы своего ареала площади запрограммированной в геноме человека индивидуальной территории порядка 4 км² стало недостаточно для обеспечения жизненных потребностей особи. Требовалась на один-два порядка большая индивидуальная территория. Однако для контроля большей территории человеку не хватало его индивидуальной биологической мощности, определяемой генетически запрограммированной физиологией организма человека.

Экологически устойчивое существование человека вне естественного ареала с удовлетворением его генетически запрограммированных потребностей оказалось невозможным. В попытке удовлетворить свои инстинкты человек на основе накопления культурной информации использовал рабство – особый вид взаимодействия организмов на основе культурной, а не генетической информации. Под рабством в широком смысле мы здесь понимаем принудительное существование организма в искажённой окружающей среде, не соответствующей его видовой генетической программе. В естественном ареале человека существует охота и рыболовство, есть дикие хищники и травоядные животные, взаимодействующие с людьми, но нет биологических рабов человека: культурных растений, полей, садов и парков, нет домашнего скота, собак и кошек. Экологическое равенство сохраняется как внутри популяции человека, так и во всём экологическом сообществе видов между людьми, растениями и животными.

Скотоводство (рабство животных) решает проблему низкой продуктивности неестественных для человека экосистем. Скот кормится на больших территориях, за счёт своей биологической мощности, собирая непригодную для питания человека растительность и



Рис. 2.

превращая её в мясную пищу человека-скотовода. В силу низкой экологической эффективности мясной продукции, для поддержания популяции скотоводов требуется, по крайней мере, пятикратное превышение массы скота относительно массы скотоводов. Это обуславливает необходимость чрезвычайно низкой плотности численности в скотоводческих популяциях людей, что действительно наблюдалось в Монголии и Средней Азии (овцеводство), у народностей крайнего Севера (оленоводство).

Изобретение земледелия (“рабства” растений) позволяет увеличить долю съедобных для человека растительных продуктов вне естественного ареала. Но земледелие неизбежно приводит к деградации почвы. При подсечно-огневом земледелии, широко распространённом на Руси в XIII–XV веках, высокая урожайность при малых вложениях физического труда достигалась благодаря богатой лесной почве. Она накапливается в течение многих тысячелетий существования леса, а истощается всего за несколько лет землепользования. Пока леса северо-востока Руси не были сведены, люди жили подсечно-огневым земледелием, при котором каждая семья полностью обеспечивала себя самостоятельно¹⁰. Лесные жители, составлявшие более

¹⁰ Кульпин Э.С. Социально-экологический кризис XV века и становление российской цивилизации. *Общественные науки и современность*. 1995. № 1. С. 88–98.

90% всего населения, в силу своей экономической независимости пользовалась неограниченной индивидуальной свободой и придерживалась принципов социального равенства в согласии с генетической программой человека.

Экспоненциальный рост численности лесных жителей привёл к практически полному сведению лесов и, как следствие, к резкому падению продуктивности нарушенных экосистем (урожайности). Индивидуальное обеспечение едой без неестественной для человека физиологической перегрузки стало невозможным. Это предопределило появление и широкое распространение внутривидового рабства, не имевшего прецедентов в живой природе.

6. Внутривидовое рабство в популяции человека

Явления, при которых одни особи вида существуют за счёт биологической мощности других особей того же вида, широко распространены в природе. Так, птицы выкармливают своих птенцов, а муравьи в муравейнике обеспечивают всем необходимым муравьиную матку. Информация, необходимая для этих сложных взаимодействий, записана в генетической программе вида, в полном согласии с которой и действуют все организмы. Таким образом, подобные явления не являются примерами рабства. Осиная матка строит гнездо только до тех пор, пока из отложенных в ещё маленькое гнездо первых яиц не вылупляются первые рабочие осы. Они навсегда освобождают матку от строительства и добычания пищи. Матка до конца жизни существует за счёт рабочих ос, что не является рабством, так как рабочие осы действуют в полном согласии со своей генетической программой (рис. 2).

Внутривидовое рабство в популяции человека выражается в подавлении генетической программы равенства и лишении большей части популяции возможности существовать согласно с генетической программой вида. Небольшая случайная выборка особей-собственников, не имеющих никаких

генетических преимуществ перед членами остальной популяции, захватывает в свою собственность огромную территорию. Появление этой социальной группы обусловлено не биологическими свойствами её членов, а дефицитом необходимых для нормального существования человека ресурсов при низкой продуктивности экосистем.

Обработка захваченной собственниками территории выполняется большим количеством людей-рабов. Рабство основано на физиологической возможности человека длительно функционировать на износ на максимальном пределе своей биологической мощности. Рабы лишены свободы передвижения, выбора действий, индивидуальной территории и принуждаются к физическому труду, превышающему потребности человека в физической деятельности. Постоянная физиологическая перегрузка обуславливает бессмысленное в естественной окружающей среде деление бюджета времени на “работу” (вызывающую отрицательные эмоции, так как производится по принуждению) и “отдых” (вызывающий положительные эмоции, так как подразумевает свободу в выборе деятельности). В естественной окружающей среде добывание пропитания и другие процессы жизнеобеспечения не являются “работой”, поскольку они не сопровождаются ни физиологической перегрузкой, ни отрицательными эмоциями типа скуки.

В отличие от рабов, собственники не испытывают физиологической перегрузки и живут в условиях, максимально приближённых к жизни в естественном ареале. Собственники имеют большую индивидуальную территорию и сохраняют малую плотность численности. Они образуют свою популяцию, зачастую основанную на описанных выше генетических принципах равенства, включая поддержание генетической устойчивости на основе регуляции смертности. Однако, в отличие от людей в их естественном ареале, собственники в значительной мере лишены индивидуальной свободы, потому что они находятся в жёсткой зависимости от существования обслуживающих их

рабов. Рабы, как и домашний скот, не считаются членами популяции собственников, поэтому конкурентное взаимодействие среди рабов всегда искусственно подавлялось юридическими нормами иерархического общества¹¹.

Таким образом, иерархическая структура общества с делением его на рабов и собственников обусловлена существованием человека вне его естественного ареала при низкой продуктивности экосистем, которая приводит к физической перегрузке при самообеспечении пищей и другими необходимыми элементами жизни. При попадании человека в среду с высокой продуктивностью должен происходить возврат к генетически запрограммированным принципам социального равенства, и наоборот. Так на Руси XIII–XV вв. существовали два общества, иерархическое (осёдлое земледелие с низкой продуктивностью, менее 10% населения) и общество равенства (подсечно-огневое земледелие с высокой продуктивностью, более 90% населения) (см. выше ссылку Кульпин, 1995). Сведение лесов, естественное восстановление которых занимает многие столетия, привело к долгосрочному закреплению иерархической структуры общества. Эта структура подверглась частичной реорганизации (отмена рабства, идеи “свободы, равенства и братства” и проч.) лишь через многие века, когда продуктивность общества вновь повысилась, на этот раз за счёт роста производительности труда, обусловленного научно-техническим прогрессом и освоением новых источников энергии.



Рис. 3.

7. Собственность и торговля

Понятие собственности не придумано человеком, а имеет генетическую основу. Особь любого вида нуждается в определённом объёме и площади пространства окружающей среды, в котором она может жить.

У нормальных здоровых растений – это собственное пространство, занимаемое корнями и кроной дерева, на которой нет и не должно быть других деревьев. Собственностью деревьев является занимаемая ими индивидуальная территория, на которой имеется абсолютно всё, необходимое для их жизни, включая организмы других видов экологического сообщества (грибы, бактерии, насекомые), без которых дерево существовать не может (рис. 3).

У животных – это индивидуальная территория, находящаяся в собственности передвигающейся по земной поверхности особи данного вида. На ней расположены не принадлежащие другим особям вида съедобные продукты и остальные используемые видом ресурсы окружающей среды. По определению, на индивидуальной территории животного (или социальной группы животных) нет и не должно быть других животных (или их социальных групп) того же вида. В ареале каждого вида на индивидуальной территории каждой особи присутствует абсолютно всё, что необходимо для жизни особи и записано в геноме вида. Поэтому в биоте отсутствует торговля – обмен продуктами окружающей среды из различных

¹¹ В частности, ещё сравнительно недавно, в XIX веке, представители аристократии имели юридическое право на убийство членов своего общества при межличностных конфликтах (дуэли). Уровень насильственной смертности среди аристократов совпадал с таковым для естественных нецивилизованных сообществ (см. выше ссылку Pinker, 2011). Рабы такого права не имели.

ареалов. За пределами естественного ареала на индивидуальной территории человека, независимо от её величины, не оказывалось некоторых необходимых для жизни ресурсов окружающей среды. Это привело к возникновению ещё одного беспрецедентного для жизни явления – торговле. Обмен недостающими ресурсами производился в соответствии с их локальным спросом, не связанным с количеством труда по добыче этих ресурсов. Был введён денежный эквивалент стоимости ресурсов. Появились собственники ресурсов, пользующихся спросом, а также возможность монополизации жизненно важных ресурсов цивилизации¹².

8. Государство, города и наука

Чем больше численность рабов, тем выше уровень жизни собственников. Поэтому собственники заинтересованы в неограниченном росте численности рабов. Так как рабы генетически остаются людьми, каждый из них способен заменить собой собственника. Для устойчивого сохранения рабства создаётся государство, обеспечивающее принудительное выполнение юридического права собственности владельца на занимаемую им территорию и работающих на ней рабов. Требуются силовые структуры для защиты государства от нападения других государств.

Минимизация расхода энергии при необходимом передвижении и взаимодействии рабов между собой приводит к концентрации населения и образованию городов, где распределение энергии происходит наиболее эффективно. Развитие науки и техники, финансируемое государством, имеют целью уменьшения затрат физического труда рабов, роста их производительности и увеличения военной мощи (конкурентоспособности) государства. Чем больше производительность труда рабов, тем большее количество людей в

популяции может быть освобождено от неестественной для Homo sapiens физической перегрузки.

9. Ликвидация внутривидового рабства?

«Признак роскоши уже не “бентли” возле дома, а роща и пустое пространство»

*Н. Явейн,
заслуженный архитектор России*

К настоящему времени в цивилизации фактически решена проблема замены физического труда универсальным техническим обеспечением. Среднее потребление энергии современным человеком более чем на порядок превосходит его биологическую мощность. Это, в принципе, могло бы позволить людям обеспечивать свою жизнь на любой необходимой индивидуальной территории, намного превышающей её величину в естественном ареале. Необходимость в рабском труде исчезла. Однако техническое обеспечение, важнейшим элементом которого является электричество, возникло только после концентрации населения в городах. В настоящее время на земной поверхности уже нет места для обеспечения всех людей собственной индивидуальной территорией в соответствии с их генетической программой. Поэтому существовавшее в течение тысячелетий деление популяции на современных собственников-работодателей, которых в сотни раз меньше, чем юридически свободных наёмных рабочих-производителей, сохраняется.

При современной невозможности удовлетворить генетические потребности людей в индивидуальной территории люди продолжают производить излишнюю продукцию, работая на износ, в стремлении получить полный контроль над индивидуальной территорией необходимой величины. В естественном экологическом сообществе такой контроль означает, что на индивидуальной территории не происходит

¹² Makarieva A.M., Gorshkov V.G., Li B.-L. *Comprehending ecological and economic sustainability: Comparative analysis of stability principles in the biosphere and free market economy. Annals of the New York Academy of Sciences. 2010. V. 1195. P. E1–E18.*

никакой деятельности других особей того же вида, которая вызывала бы отрицательные эмоции у владельца территории. В цивилизации такой контроль удаётся получить только крайне ограниченному количеству собственников-работодателей, концентрирующих в своих руках излишки производства сотен и тысяч лишённых индивидуальной территории производителей. Этот контроль собственники распространяют как на реальное пространство, в котором производится продукция цивилизации, так и на информационное пространство современных СМИ.

Производителям остаётся суррогат реального контроля территории – всё более набирающая популярность виртуальная реальность, представляющая собой особый вид наркомании. Разрушение психики человека при массовом переходе на виртуальную реальность может представлять самую серьёзную опасность для сохранения популяции человека.

Чем больше излишков производства концентрируется в руках собственника, тем большая территория оказывается под его контролем. Этот процесс определяется генетической природой человека и потому обуславливает все без исключения способы приобретения крупной собственности, включая те, которые в современном обществе юридически запрещены (например, коррупция).

Индивидуальная утилизация крупным собственником своего дохода невозможна. Поэтому излишки продукции цивилизации, концентрируемые собственником, используются им для поддержания жизни других людей, которые выполняют произвольные работы на контролируемой собственником территории, включая её охрану. По желанию собственника, эти люди могут не участвовать в необходимом для поддержания цивилизации производственном процессе. Так возникает непроизводственная (спортивная, религиозная) или разрушительная (террористическая) деятельность.

Заключение

В современной цивилизации люди полностью обеспечены дополнительной энергией, необходимой человеку для существования без физической перегрузки вне его естественного ареала. Если бы при этом каждый человек мог контролировать индивидуальную территорию генетически запрограммированной величины, то дальнейший экономический рост производства был бы не нужен. У производителей исчезла бы необходимость производить излишнюю продукцию, а у собственников – возможность концентрировать её в своих руках для защиты собственной территории. Иерархическое общество было бы вытеснено естественным для человека обществом равенства. Прогресс перешёл бы в стационарное состояние, в котором основные генетические потребности человека были бы удовлетворены.

Таким образом, основные структурные особенности современной цивилизации обусловлены генетической программой человека, которая не меняется со временем и полностью диктует социальную организацию цивилизованного общества, базирующегося на культурной информации. Неограниченный экономический рост производства был вызван дефицитом удовлетворения основных генетических потребностей человека, оказавшегося вне своего естественного ареала. В современной цивилизации, несмотря на её энергетическую обеспеченность, дефицит в обеспечении людей индивидуальной территорией продолжает нарастать. Поэтому в отсутствие научного обоснованного контроля экономический рост производства и боязнь стагнации сохраняются вплоть до остановки роста полным разрушением окружающей среды. Только при детальном и всестороннем научном анализе экологических потребностей человека, записанных в геноме *Homo sapiens*, можно обеспечить все генетические потребности человека при одновременном сохранении устойчивости, пригодной для жизни окружающей среды.