СТРАТЕГИИ ДИСКУРСА

УДК: 001.2
ББК: А(1)

С.Г. Добровольский

ЖИЗНЬ КАК ПОРОГОВОЕ БЛУЖДАНИЕ

Описываются наиболее общие закономерности эволюции совокупностей живых организмов – популяций, сообществ, этносов – при помощи математической модели одной из разновидностей случайных (стохастических) процессов: пороговых блужданий. Часть этих закономерностей может быть справедлива и для индивидуальных организмов, и даже для их элементов, и охватывает разные уровни организации живых объектов. Рассматриваемый тип моделей может быть также применен для описания ряда процессов в неживой природе – например, процессов глобального оледенения.

Ключевые слова:
пороговые блуждания, жизнь.

Одна из основных целей данной работы – изучение тех черт временнуй изменчивости, которые являются общими как для обладающих исключительной индивидуальностью совокупностей людей (этносов, субэтносов, суперэтносов), так и для совокупностей других живых организмов. Исторически и методологически такая постановка вопроса в какой-то степени связана не только с распространённым в прошлом «географическим детерминизмом» и трудами классических исторических школ в стиле Тойнби [4], но и со всем циклом работ Л.Н. Гумилёва, рассматривавшего эволюцию этносистем как своего рода раздел географии и экологии (см., например, [2]).

В качестве математических моделей в работе использованы чрезвычайно простые по своему математическому выражению, но содержательные и во многих отношениях нетривиальные модели типа случайных блужданий. Ограниченные по времени отрезки графиков, характеризующих хронологические изменения популяций и других совокупностей живых организмов, очень часто схожи по внешнему виду и по существу с реализациями случайных (стохастических) процессов. Иными словами, изменения на ограниченном временном интервале характеристик совокупностей живых объектов часто вполне удовлетворительно описываются как отрезок одной из реализаций бесконечного числа теоретически возможных реализаций, совокупность (или ансамбль) которых и принято называть случайным процессом.

Рассмотрим наиболее принципиальные отличия временнуй изменчивости и соответствующих моделей для совокупностей живых организмов от временнуй изменчивости в неживой природе, оставив в стороне многие детали внутренней структуры тех и других. Как ни парадоксально, наиболее отличительным свойством всего живого, в рамках данного подхода, является принципиальная возможность его смерти. Другими словами, живые организмы и такие их системы, как популяции, виды, сообщества, этносы и т.п. обладают настолько большой индивидуальностью (вследствие сложности внутреннего строения), что являются уникальными и в случае уменьшения их количества до нуля не способны восстановиться (здесь мы не рассматриваем такие детали, как вопросы миграций, особенности жизни и смерти модульных и ряда других организмов и т.д.). В то же время, и в неживой природе существуют объекты, поведение которых в течение определенных периодов времени можно формально охарактеризовать как «смерть» – например, возвращение глобального оледенения к стадии ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии, выйти за пределы которых ледникам чрезвычайно трудно.

Смерть, таким образом, может рассматриваться как некоторый нижний нулевой, «поглощающий» порог развития изучаемых процессов, достигая который, характеристики процесса превращаются в ноль навсегда (во всяком случае, если мы имеем в виду аналоги в неживой природе – на длительный период). Назовём этот предел порогом первого рода. Другой особенностью рассматриваемых нами объектов и их совокупностей является неизбежное существование конечного верхнего порога или «потолка» их развития, преодоление которого конкретными организмами и их общностями невозможно. Природа такого порога может быть различна – климатические, почвенные ограничения, рельеф, недостаток пищи, конкуренция со стороны других особей, видов или этносов, размеры территории и т.п. Фундаментальным верхним порогом на поверхности суши и в воздухе является ограничение размеров индивидуального организма: при его росте объём, а, следовательно, и вес увеличивается на порядок быстрее, чем площадь всего организма и тех его частей, которыми он опирается на поверхность суши или на воздух и прочность которых не беспредельна. В сущности, противоречие между массой всего организма и тех его частей, которые примыкают к его поверхности и участвуют в процессах обмена с окружающей средой, препятствуют бесконечному увеличению размеров и водных организмов. Порог «второго рода» очевидно, от «порога первого рода» тем, что не является поглощающим: при его достижении организм или сообщество не исчезает.

При всей кажущейся банальности этих рассуждений они, в сочетании с учётом вероятностного характера процессов, как будет показано ниже, способны привести к неожиданным результатам. Для этого перейдём к несколько более формальному описанию, позволяющему произвести количественные выкладки. Будем, в первом приближении, рассматривать динамику лишь одного, но важнейшего в каждом конкретном случае параметра, описывающего совокупность живых объектов – $X(t)$, где t – время, принимаемое для наглядности дискретным. В одних случаях параметром X может быть количество особей, в других – площадь ареала расселения популяции или вида, в третьих (при рассмотрении совокупностей людей – «этносов») – «пассионарность» и т.д. Представим изменение параметра X во времени, между двумя порогами, в простейшем виде, требующем минимальных априорных предположений – как результат накопления воздействующих на значение этого параметра случайных пульсаций:

$$X(t) = X(t-1) + a(t), \qquad (1)$$

где $a(t)$ – «белый шум». Уравнение (1) – это уравнение так называемого случайного блуждания. Предположим, что значение процесса в начальный момент времени близко к нулю. Введём и формально описанные, упомянутые выше условия на нижнем и верхнем пороге: если $x(t_1) = 0$, то $x(t_2) = 0$ для всех $t_2 \geq t_1$; $x(t) \leq x_{max}$. Воспроизведём большое количество реализаций рассматриваемого процесса с упомянутыми граничными условиями методом розыгрыша вероятностей Монте-Карло. При этом случайные приращения $a(t)$ зададим для наглядности следующим простейшим и естественным образом: предположим, что величины $a(t)$ распределены равномерно в интервале шириной $\Delta a = x_{max}$. Сходные результаты могут быть получены и для случаев нормально и другим образом распределенных приращений процесса – см. [6; 7]. Количество параметров модели, очевидно, равно всего одному, а если величину x_{max} нормировать (считать единичной), то модель представляет собой идеальную структуру, не зависящую от параметров. На рис. 1а изображён ход среднего значения такого процесса. Из рисунка видно, что в среднем процесс $X(t)$ вначале быстро и непрерывно растёт, затем подходит к максимуму своего развития (в среднем далеко не достигающему верхнего порога x_{max}) и вслед за этим деградирует со скоростью меньшей, чем скорость первоначального роста. Напомним, что именно таков качественно ход плотности и численности многих популяций как в условиях лабораторных экспериментов (рис. 1б), так и в природе, когда рост популяции ограничен сравнительно стабильным верхним порогом – например, вследствие постоянного наличия «хищников».

Более того, аналогична трансформация многих индивидуальных организмов: быстрое совершенствование в начале жизни, достижение максимума биологического развития и последующая деградация, идущая с меньшей скоростью, чем первоначальное развитие. Отметим в этой связи, что, по существу, пока не предложено убедительных гипотез (или, наоборот, предложено подозрительно много гипотез) для объяснения конечных, принципиальных причин таких фундаментальнейших процессов, как старение индивидуальных организмов, деградация этносов и других подобных явлений. В связи с этим рассмотрение процессов, сходных с изображённым на Рис. 1а и служащих, с определённых точек зрения, прототипами «способных умереть» систем, представляет большой интерес.

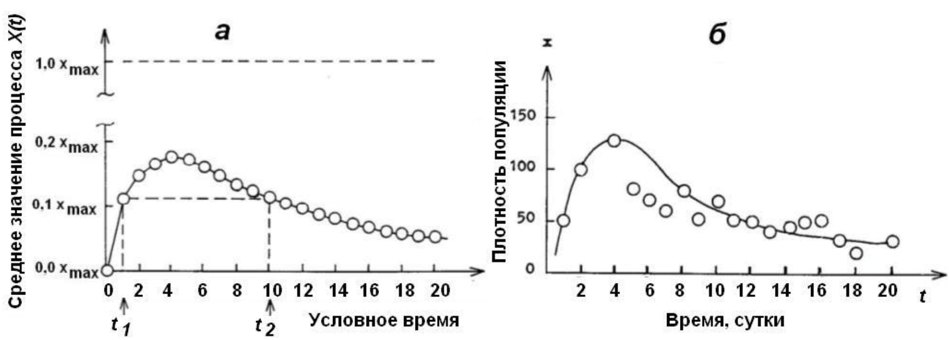

Рис. 1. а – изменения во времени среднего значения процесса двухпорогового блуждания. Случайные приращения процесса a(t) распределены равномерно и симметрично в интервале, ширина которого равна значению верхнего порога xmax. б – изменения плотности популяции инфузорий Paramecium caudatum в условиях конкуренции и стабильных предельных плотностей в классических лабораторных экспериментах Гаузе [8].

Если вернуться к процессу (1), то его средний ход, приведённый на рис. 1а, вызывает при первом рассмотрении недоуменные вопросы. Например: почему в начальный период, несмотря на абсолютно одинаковую вероятность случайных импульсов в сторону «прогресса» (положительных) и «деградации» (отрицательных), в среднем происходит неуклонный рост? Почему затем при точно таких же условиях происходит постоянная деградация? Чем отличаются, например, моменты времени $t_1 = 1$ и $t_2 = 10$, когда, казалось бы, все условия совпадают: среднее значение процесса (сходна также и дисперсия приращений), модель, её параметры, условия на порогах, а поведение среднего значения процесса прямо противоположно? Вызывает также удивление то, насколько максимум среднего хода процесса ниже, чем верхний порог x_{max}.

Если вдуматься, то по существу такие же вопросы без ответов возникают и при изучении судеб реальных организмов, видов, популяций, этносов: империи, казалось бы, достигшие вершины могущества, без видимых серьёзных причин распадаются (хотя ранее с успехом выдерживали намного более суровые испытания), медики не могут найти специальных причин, вызывающих старение (или, наоборот, находят слишком много причин), а исчезнувших, существовавших ранее биологических видов явно больше, чем катастроф, якобы погубивших их.

При более внимательном рассмотрении уравнения (1) с граничными условиями поведение этого прототипа «смертной» системы, тем не менее, можно объяснить. Рост в начальный период происходит по той причине, что положительные импульсы, в условиях ещё значительной удалённости верхнего предела развития, могут полностью реализовываться, в то время как возможности реализации отрицательных импульсов ограничены нижней границей – «смертью». Как ни странно, именно наличие «смерти» – нижнего поглощающего порога – является необходимым условием среднего роста процесса: без нулевого порога среднее значение процесса монотонно уменьшалось бы.

Однако, через некоторое время, при сравнительно удаленных от нижнего порога средних значениях процесса, отрицательные импульсы получают возможность реализовываться с такой же вероятностью, что и положительные импульсы – достигается максимальное среднее значение. Впоследствии скорость, с которой процесс деградирует за счёт постоянного исчезновения (превращения в ноль) части своих реализаций, уже превышает скорость, с которой процесс прогрессирует за счёт подъёма наиболее «удачливых» своих реализаций (существенно ограниченного верхним порогом).

Простые эксперименты и выкладки с помощью модели (2) позволяют, на наш взгляд, выдвинуть далеко идущие гипотезы относительно конечных, принципиальных причин роста и деградации живых систем: этносов, совокупностей других живых организмов и даже индивидуальных организмов – во всяком случае, на отдельных стадиях жизни последних (если рассматривать их как совокупность отдельных элементов, не постулируя априори точный характер связей и взаимодействий внутри организма, а ограничиваясь рассмотрением только конечного итога этих взаимодействий – самой целостности организма). А именно, рост систем такого рода происходит просто потому, что мы не видим «невыросших» систем – погибших на ранних стадиях или совсем не реализовавшихся.

В свою очередь, деградация или старение живых систем может иметь своей наиболее принципиальной причиной наличие верхних порогов своего развития. Система или индивидуальный организм начинают деградировать потому, что положительные импульсы развития уже не могут воплотиться из-за ряда ограничений (фундаментальнейшее связано с гравитацией для индивидуальных организмов или с пространственными ограничениями для совокупностей организмов). Отрицательные импульсы, как ни парадоксально, начинают быть особенно действенными именно тогда, когда система или организм наиболее крепки и здоровы: эти импульсы могут быть реализованы с большей вероятностью («есть, что терять»).

Для объяснения деградации или старения, таким образом, в общем случае не обязательно привлекать какие-либо гипотезы относительно специальных процессов, органов, веществ или детерминистических причин старения. Иными словами, такой причины вообще может не быть: система, оказывается, просто «не терпит» ограничений и, далеко не достигая этих пределов и только начиная их чувствовать своими наиболее удачливыми элементами или реализациями, «пасует» заранее перед препятствием. Психологические аналоги этого явления хорошо знакомы всем: когда человек не имеет жизненной перспективы, то есть, только мысленно чувствует ограничение (его интеллектуальная подсистема или «реализация» уже достигла порога), его деятельность становится менее эффективной. Другой пример процессов такой же, на наш взгляд, природы: спортсмен, почувствовав, что он может выиграть (то есть, достичь высокого, но всегда в каком-то смысле слова ограниченного и конечного рубежа) часто ухудшает в этот момент свой результат. Наоборот, начинающему или аутсайдеру, который не чувствует никаких верхних пределов, психологически намного проще.

Посмотрим, что происходит с картиной эволюции живой системы, если брать более низкие значения верхнего порога. На рис. 2а помещены: кривая, аналогичная рис. 1а, и, кроме того, кривые, соответствующие пониженному в 2 и 4 раза верхнему порогу.

Из рисунка видно, что понижение верхнего порога сравнительно мало влияет на первоначальный рост системы и значение максимума (вместе с тем, он наступает несколько раньше), но катастрофически влияет на скорость последующей деградации. Неочевидный априори результат – это еще более выраженная, по сравнению с первым экспериментом, «дальность» влияния верхнего порога. Лишь издали приблизившись к максимуму средних значений (превышая его в 3–4 раза, кривая 2), он резко усиливает скорость деградации, а приблизившись на расстояние двойного максиму-

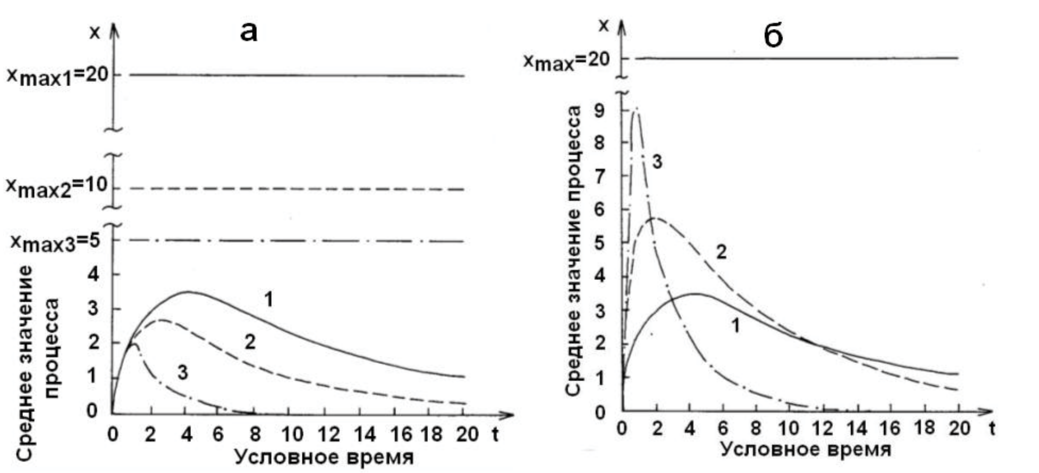

Рис. 2. Кривые эволюции средних значений двухпорогового блуждания: а – при одинаковых амплитудах случайных приращений a(t) и различных значениях верхнего порога xMAX. Кривая 1 аналогична кривой на Рис. 1а. Кривые 2 и 3 соответствуют уменьшенным в 2 и 4 раза значениям верхнего порога. б – при одинаковых значениях верхнего порога (20), но разных значениях амплитуд случайных приращений. Кривая 1 соответствует кривой на Рис. 1а. Кривые 2 и 3 соответствуют стандартам приращений, увеличенным в 2 и 4 раза.

ма (кривая 3), вызывает катастрофическое падение. Представляется, что эти результаты также могут навести на различного рода размышления относительно некоторых особенностей реальных процессов. В частности, показать, что причины многих исторических и экологических катастроф могут быть как бы «удалены» от самих этих явлений и, таким образом, трудно идентифицируемы.

Напрашивается и другая аналогия – со средними медико-демографическими характеристиками различных этносов (стран). Для бедных и богатых стран характерно примерно одинаковое биологическое развитие людей вплоть до 15–20 лет, однако последующая деградация биологического состояния людей в богатых странах происходит намного более медленными темпами, чем в бедных странах. Очевидно, что мероприятия, проводимые в развитых странах на уровне государства и индивидуально и направленные по существу на поднятие потолка биологического развития своих граждан, сказываются именно на стадии деградации.

Рассмотрим характер эволюции двухпороговых систем в несколько ином аспекте: при одинаковых верхних порогах и различных интенсивностях случайного возбуждения $a(t)$. Соответствующий рисунок (рис. 2б) аналогичен предыдущему в смысле соотношений верхнего порога и интенсивности белого шума, но перестроен таким образом, чтобы значение $x_{\text{мах}}$ было одинаковым для разных моделей. Из рисунка видно, что максимум среднего значения процесса с большим случайным возбуждением велик, но последующая деградация процесса происходит очень быстро. Напротив, максимум среднего значения процесса с малым возбуждением (по сравнению с верхним порогом) невелик, но зато дальнейшее падение процесса происходит медленно. В результате, на большом удалении от начального момента среднее значение слабовозбуждённых процессов может в колоссальной степени превосходить среднее значение сильновозбуждённых процессов.

Рассмотрение этих вопросов естественным образом вызывает также следующий: как будет себя вести среднее значение двухпорогового процесса, если мы совсем уберём верхний порог, то есть, сделаем его бесконечным? На первый взгляд, этому варианту должен соответствовать бесконечный же рост во времени среднего значения. Однако, это не так. Достигнув значения, несколько превышающего, но близкого к максимуму на рис. 1а, среднее значение остаётся постоянным. При данных условиях рост среднего за счёт бесконечно далеко уходящих, «удачливых» реализаций процесса в точности компенсируется уменьшением среднего за счёт поглощения реализаций нулевым порогом. Очевидно, в реальности такое развитие событий возможно для очень малых совокупностей живых организмов или для малых этносов. Действительно, реликтовые виды живых организмов и реликтовые этносы обычно очень малы по численности. Другая аналогия – изменение численности организмов при очень малом внутреннем возбуждении популяции за счет низкого качества корма – см. график на Рис. V.8 [5, с. 180] и другие похожие, многочисленные графики из этой монографии.

В заключение настоящего раздела укажем, что наши модельные эксперименты с переменными по времени значениями верхнего порога и интенсивности случайного возбуждения были способны воспроизвести все основные виды популяционной динамики по Харперу [1] – при ограничениях со стороны высокой и низкой емкости среды, чередований внезапных стадий колонизации или пополнения семенного запаса в почве с падениями на ограниченном обитаемом участке и т.п.

Выше уже приводились отдельные аналогии, связывающие эволюцию этносов и рассматриваемые нами модели. Остановимся более подробно на этих вопросах. Этносы, наряду с совокупностями других живых организмов, представляются одними из наиболее характерных объектов, для которых применимы модели двухпороговых блужданий. В соответствии с определением Л.Н. Гумилёва [3, с. 11] этнос – «Коллектив людей, который противопоставляет себя всем другим таким же коллективам». Таким образом, этнос – идеальный, с точки зрения наших предыдущих рассуждений, объект, единственным заложенным в определение признаком которого является его индивидуальность – то есть, отличие от других аналогичных объектов и способность исчезать.

По мнению Л.Н. Гумилёва, первым параметром, который характеризует этническую историю, является пространство. В свою очередь, изменения и пространственное расположение этносов мозаичны: «картина резко меняется и напоминает скорее детский калейдоскоп, а не строгое изображение» [3, с. 8]. Иными словами, говоря математическим языком, изменчивость этносов (по крайней мере с внешней точки зрения) стохастична. В качестве параметра X из уравнения (1) мы можем, таким образом, взять площадь, занимаемую данным этносом. Возможно и описание эволюции этносов в терминах «пассионарности» – понятия, также предложенного Л.Н. Гумилёвым и характеризующего в интегральном виде потенциал этноса. Понятно, что по крайней мере в доиндустриальные эпохи пассионарность крупного этноса была связана с площадью занимаемой им территории, которая, в свою очередь, имела верхнюю границу. Этой предельной площадью для разных эпох и разных этносов могла быть площадь «вмещающего ландшафта», площадь острова, отделённой горными хребтами части континента, площадь субконтинента или всего континента.

На рис. 3а показана чрезвычайно интересная, осреднённая по 40 индивидуальным этносам кривая эволюции этноса (по [3]). Рассмотрим этот график с точки зрения нашего подхода, то есть, будем считать эту кривую оценкой среднего значения (математического ожидания) случайного процесса этногенеза по его 40 реализациям.

На рис. 3 б-1 помещён график среднего значения процесса, порождаемого моделью двухпорогового блуждания (1), оцененного по такому же количеству реализаций (40), а на рис. 3 б-2 – среднее значение процесса по практически бесконечно большому количеству реализаций (в нашем случае – 100000). Как и в предыдущих случаях, предполагаем из-за недостатка информации, что ширина интервала, на котором равномерно распределены случайные приращения процесса, такая же, как и значение верхнего порога, x_{max}.

Из сопоставления рис. 3а и 3б видно, что средний ход процесса (1), особенно оцененный по ограниченному·количеству реализаций (40), качественно хорошо описывает основные закономерности развития этносов: их первоначальное быстрое развитие, последующую медленную (и с течением времени всё более замедленную) деградацию, наличие более мелких экстремумов на фоне среднего подъема или опускания кривой. Характерно также и то, что правый конец кривых как на рис. 3а, так и на рис. 3б как бы «повисает» – не обращается в ноль на рис. 3б и не описывает со всей определённостью полное исчезновение этноса на рис. 3а.

Характерная эволюция этноса, следовательно, совпадает с эволюцией системы, относительно которой известно только то, что она обладает индивидуальностью (имеется порог первого рода), ограничена верхним пределом своего развития (порог второго рода) и подвержена случайным изменениям. Набора этих естественных свойств, по существу заложенного в определении этноса по Л.Н. Гумилёву, уже достаточно для качественного описания и воспроизведения как роста, так и деградации этноса.

Здесь, как и в предыдущих разделах, для описания неслучайного (детерминированного) нестационарного поведения системы – роста или деградации – нет необходимости отыскивать нестационарные детерминированные причины такого поведения. Показательно в этой связи то, что

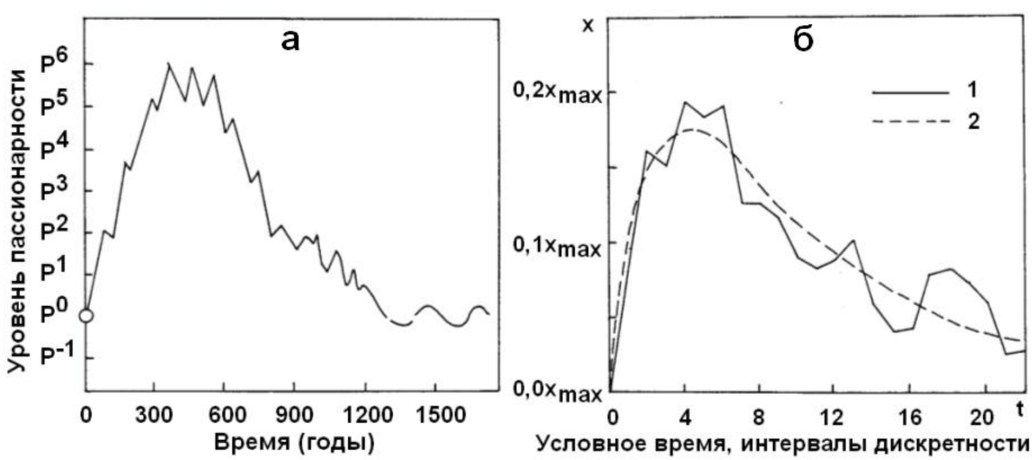

Рис. 3. Изменения уровня пассионарного напряжения P. а – оценка Гумилева, сделанная на основе изучения 40 этносов [3] (график перестроен для равномерной шкалы P). б – средние значения двухпорогового блуждания, оцененные по 40 реализациям (1), по 100 000 реализациям (2).

сам Л.Н. Гумилёв, по существу, никак не объяснял ни фазу «подъёма» этноса (указывая только, что этот подъём происходит «по инерции» после пассионарного толчка, что совпадает и с нашей трактовкой), ни фазу «надлома». Напомним, что надлом в эволюции этносов, с нашей точки зрения, в общем можно объяснить так же, как и стадию деградации средних значений всех процессов типа (1): наличием верхних пределов развития этноса (пределов площади распространения и других). Действительно, в прошлом таким пределом для этносов часто была площадь так называемого вмещающего ландшафта – природной территории, к которой приспособился данный этнос. Если этнос мог приспособиться и к другим ландшафтам, то площадь его распространения всё-таки была ограничена естественными границами – горными хребтами, берегами морей, размерами субконтинента или континента.

В связи с ограничениями на объем статьи нет возможности привести наши расчеты, описывающие эволюцию индивидуального – хазарского – этноса, бывшего любимым объектом классических исследований Л.Н. Гумилёва. По его предположению, деградация этого этноса была обусловлена в основном повышением уровня Каспийского моря в IX–XI и в XIII–XIV вв. и затоплением громадной площади пригодных для жизни хазар земель. В качестве модели эволюции этноса нами было взято уравнение (1), однако на этот раз – с переменным по времени верхним порогом, который отождествлялся нами с площадью пригодной для жизни и хозяйственной деятельности территории. Модельно реконструированная эволюция этноса качественно хорошо описывает фазы развития хазарского этноса, известные из исторических источников. (Напомним, что модель «не знает» этих фаз и учитывает информацию только о ходе уровня). Модель позволяет предположить, что упадок этноса мог начаться не только вследствие сравнительно небольшого повышения уровня в IX–XI вв., но и вследствие неизбежной для всех систем такого вида естественной деградации. Катастрофический упадок этноса в модели наступает – так же, как и по историческим сведениям, приведенным Л.Н. Гумилевым – в XIII–XIV веках, в результате резкого подъема уровня. Характерно и интересно, что после восстановления уровня (после XIV он опять понижался) как реальный, так и модельный этнос не восстановился.

Другой интересной особенностью влияния переменного верхнего порога, на которой в рамках настоящей статьи нет возможности подробно останавливаться, является различие в проявлениях этого эффекта на разных стадиях развития процесса (2). Так, на стадии роста средних значений временное понижение верхнего порога может не оказывать существенного влияния на средние значения процесса. Напротив, влияние такого же по размерам и длительности понижения порога может быть очень существенно на стадии деградации (что и наблюдается в нашем примере с хазарским этносом).

Заметим, что проведенные нами и описанные в этом и предыдущих разделах эксперименты могут указывать и на то, какова должна быть оптимальная стратегия предотвращения катастроф (быстрой деградации) рассматриваемых систем. Эта стратегия различна в зависимости от того, вызвана ли деградация постоянным или временным понижением верхнего порога, x_{max}. В первом случае необходимо уменьшение случайного возбуждения системы уже в начальный период ее развития; во втором случае необходимо увеличение возбуждения системы после восстановления верхнего порога.

Список литературы:

[1] Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. В 2-х тт. – М.: Мир, 1989. – Том 1. – 668 с.; том 2. – 478 с.

[2] Гумилев Л.Н. География этноса в исторический период. – Л.: Наука, 1990. – 280 с.

[3] Гумилев Л.Н. От Руси к России. – М.: Прогресс-Пангея, Экопрос, 1992. – 336 с.

[4] Тойнби А.Дж. Постижение истории. – М.: Прогресс, 1991. – 732 с.

[5] Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 463 с.

[6] Dobrovolski S.G. Global climatic changes in water and heat transfer-accumulation processes. – Amsterdam et al.: Elsevier, 1992. – 282 p.

[7] Dobrovolski S.G. Stochastic climate theory. – Springer, Heidelberg et al., 2000. – 296 p.

[8] Gause G.F. The struggle for existence. – Baltimore: Williams and Wilkins, 1934. – 163 p. (reprinted by Haffner, N.Y., 1964).