

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭТНОГЕНЕЗА С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ФАКТОРА ВЗАИМНОЙ АДАПТАЦИИ**

**Сургутанов В.В.**

(г. Камышин Волгоградской обл.)

Предлагается математическая модель глобального этногенеза. Учитываются внеэтнические, межэтнические и внутриэтнические факторы. Рассматривается взаимодействие двух сред агентов. С одной стороны – среда популяций, с другой – участки ландшафта. Состав и поведение агентов регулируются механизмами генетического алгоритма. Используется принцип пролиферации особей наиболее адаптированных к обеим средам.

## **THE ETHNOGENY SIMULATION MODEL WITH INTERACTIONS BASED ON THE MUTUAL ADAPTATION FACTOR**

**Surgutanov V.V.**

(Kamyshin, Volgograd region)

The issue deals with mathematical model of global ethnogeny. The external, internal and interethnic factors are taken into account. The two multi-agent systems interaction is considered. The first is the populations system, and the second is the landscape cells system. The structure and behavior of agents are regulated by the mechanisms of genetic algorithm using the principle of agent maximum adaptation both to populations and landscape system.

**Обоснование метода.** Согласно известному парадоксу Б. Шоу из истории можно извлечь только один урок – урок о том, что из нее нельзя извлечь никакого урока. И это, несмотря на достаточно широкий спектр теорий исторического развития. По мнению автора, их использование для понимания и прогнозирования исторических процессов затруднено, в основном, по двум

причинам.

Первая связана с необратимостью времени и, как следствие, отсутствием множества реализаций для идентификации моделей динамики развития человечества. Имеется единственная реализация исторического процесса, зафиксированная в рукописях летописцев, а также косвенно наблюдаемая посредством археологических исследований. Но как исходные, так и получаемые в результате анализа сведения искажены абберацией и иными субъективными факторами, что ведет к неадекватной экстраполяции исторических фактов.

Вторая причина – в недостаточной адекватности гипотез, предлагаемых в трудах, посвященных проблемам исторического развития. В научных кругах постоянно ведется полемика о правомерности тех или иных воззрений, а аргументы оппонентов часто лежат в области философии и риторики. Попытки обоснования той или иной теории посредством указания исторических фактов, в пользу ее подтверждения не приводят к абсолютному ее приятию, так как полемизирующим сторонам всегда удается найти контр-примеры. Это происходит по причине многообразия форм и способов взаимодействия элементов общества, многие из которых носят случайный характер.

Преодолению сложившейся ситуации, по мнению автора, способствует построение имитационных моделей, генерирующих на качественном уровне различные варианты протекания процессов развития общества. Математическое моделирование здесь является средством осмысления теорий исторического развития через четкую формализацию гипотез, что, в конечном счете, стимулирует их коррекцию и выявление границ применения тех или иных теорий. В результате в исторической науке возможен переход от споров к количественным сопоставлениям.

Обсуждаемая здесь математическая модель реализует некоторые положения этнического уровня глобального исторического процесса. В качестве исходных гипотез использованы постулаты пассионарной теории этногенеза Л.Н. Гумилева [1], в которой большое внимание уделяется биологической (физической) составляющей факторов развития. Наряду с данным подходом существуют и другие. В частности, основным оппонен-

том пассионарной теории этногенеза является Ю.В. Бромлей, который предлагает учитывать все множество факторов, определяющая роль среди которых придается социально-психологическим аспектам [2].

Подход Л.Н. Гумилева согласуется с синергетическим представлением о процессах биосферы, будь то физических, экологических, биологических или иных. Пассионарная теория этногенеза позволяет рассматривать сложный нелинейный процесс исторического развития с позиций автомодельных систем. О самоорганизации этносферы говорит и тот факт, что до сих пор, существующая на земле этническая система не пришла к стационарному состоянию (гомеостаз).

С точки зрения моделирования и последующего прогнозирования биологические факторы, в отличие от социально-психологических, оказались легко поддающимися формализации. В качестве инструмента моделирования в данной работе избраны генетические алгоритмы [3] как наиболее полно отражающие эволюционные и инволюционные закономерности, обнаруженные Л.Н. Гумилевым у существовавших в истории этносов. Жестко ограниченный набор механизмов используемого в работе алгоритма, тем не менее, позволил учесть влияние внутриэтнических, межэтнических и внеэтнических составляющих процесса этногенеза.

**Формальное описание модели.** Согласно Л.Н. Гумилеву человек реализует энергию биосферы в направлении, диктуемом его пассионарностью. Стереотип поведения есть вектор, длина и направление которого определяется соответственно уровнем и типом пассионарности человека. Учитывая, что члены этноса занимают определенный ареал, можно говорить о распределении векторов стереотипов поведения этноса по точкам ландшафта. Другими словами, имеется функция  $P(x, y)$  – стереотип поведения этноса в точке ландшафта с координатами  $x, y$ . Этносы взаимодействуют с ландшафтами различных типов. Каждый тип предполагает адекватный ландшафту стереотип поведения гармоничного сосуществования. Таким образом, можно говорить о функции  $\bar{L}(x, y)$ , характеризующей стереотип поведения, который требуется для максимальной адаптации

членов этноса к ландшафту в точке  $x, y$ .

Внеэтнические факторы этногенеза моделируются взаимодействием двух слоев биохимической энергии: первый – популяции ( $P(x, y)$ ) различной этнической принадлежности, второй – ландшафты ( $L(x, y)$ ), образующие месторазвитие для данных популяций (рис.1).

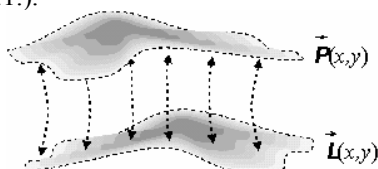


Рис. 1. Взаимодействие популяций и ландшафтов.

Межэтнические факторы этногенеза моделируются посредством взаимодействия между популяциями, занимающими соседние точки ландшафта. Для этого популяции обмениваются своими членами (особями-“потомками”), которые либо выживают в новых условиях, либо отторгаются по принципам, сходным с принципами естественного отбора (рис.2.). Перемешивание популяций отражается на динамике функции  $\bar{P}(x, y)$ .

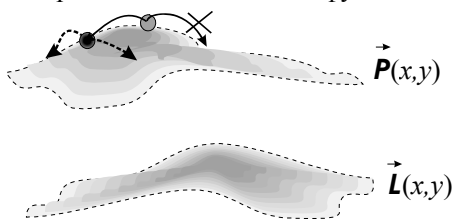


Рис. 2. Взаимодействие между популяциями.

Наиболее сложные, по мнению автора, внутриэтнические факторы этногенеза моделируются кроссингвером и мутациями – составляющими генетического алгоритма для популяции  $\bar{P}(x, y)$  особей (членов этноса) в точке ландшафта  $x, y$ . Составляющие вектора стереотипа поведения особи в популяции рассматриваются как гены. Тогда каждая популяция несет в себе определенный генофонд. В результате кроссингвера и мутаций генов в популяции возникают особи-“потомки”, расселение которых в смежные территории производится посредством межэтнических факторов этногенеза, описанных выше.

**Уточнение математической модели.**

1. Пусть число основных («эталонных») типов пассионариев равно  $n$ . Каждому из них соответствует уникальный стереотип поведения; совокупность стереотипов выберем в качестве базиса  $\{\bar{p}^1, \bar{p}^2, \dots, \bar{p}^n\}$ . Тогда стереотип поведения любой  $s$ -особи (особи с индексом  $s$ ) есть вектор  $\bar{P}^s$  в образованном пространстве. Близость  $\bar{P}^s$  к  $k$ -й оси означает сходство  $s$ -особи с  $k$ -м эталонным пассионарием ( $k \in 1..n$ ), а величина  $|\bar{P}^s|$  пропорциональна суммарной энергетике особи  $s$ .
2. Для простоты представим месторазвитие в виде прямоугольной области  $(x_0, y_0, x_{\max}, y_{\max})$  на плоскости  $ХОУ$ . Выберем интервалы дискретизации по осям  $OX$  и  $OY$  соответственно равными  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Тогда ландшафт представляется совокупностью точек с координатами  $x_i = x_0 + i \cdot \Delta x$  и  $y_j = y_0 + j \cdot \Delta y$ , где  $i \in 0..i_{\max}$ ,  $j \in 0..j_{\max}$ ,  

$$i_{\max} = \frac{x_{\max} - x_0}{\Delta x}, \quad j_{\max} = \frac{y_{\max} - y_0}{\Delta y}.$$
3. Каждая точка  $(x_i, y_j)$  является месторазвитием для популяции из  $s_{\max}$  особей. Популяция представляет собой массив объектов (особей), имеющих индивидуальный атрибут – вектор стереотипа поведения  $\bar{P}_{i,j}^s = P(x_i, y_j)^s$ , где  $s \in 1..s_{\max}$  – индекс особи в популяции,  $i, j$  – индексы точки дискретного ландшафта.
4. Популяция точки  $(x_i, y_j)$  взаимодействует с внешней средой, которая локализована в модели в форме условий, создаваемых ландшафтом. Гармоничные особи обладают стереотипом поведения, позволяющим им быть максимально адаптированными к условиям среды. Можно говорить о том, что каждая точка  $(x_i, y_j)$  месторазвития “цементирует” стереотип поведения  $\bar{L}_{i,j} = L(x_i, y_j)$  адаптации к ландшафту.

*Таким образом, для инициализации модели необходимо задать функции векторов:*

- стереотипа поведения адаптации к ландшафту  
 $\bar{L}_{i,j} = L(x_i, y_j)$ ,
- стереотипа поведения особей массивов популяций  
 $\bar{P}_{i,j}^s = P(x_i, y_j)^s$ .

По завершении инициализации начинается итерационный процесс изменения форм функций  $L$  и  $P$  под действием внутри-этнических, межэтнических, и внеэтнических взаимодействий. Ниже приведено описание одной итерации алгоритма:

1.  $\forall_{i \in 0..i_{\max}, j \in 0..j_{\max}}$  :
  - 1.1. Вычисляем  $\bar{Q}_{i,j}$  (стереотип поведения особи-“потомка” популяции точки  $i,j$ ). Для этого:
    - 1.1.1. Генерируем случайные числа  $s_1, s_2 \in 1..s_{\max}$  (индексы особей-“предков” в массиве популяции).
    - 1.1.2. Из множества  $I: \{1, 2, \dots, n\}$  (индексов составляющих координат пространства стереотипов поведения) случайным образом формируем подмножество  $I_1$  и вычисляем подмножество  $I_2 = I - I_1$ .
    - 1.1.3. Вычисляем значения составляющих координат вектора  $\bar{Q}_{i,j} : \forall_{k \in I_1} (Q_{i,j})_k = (P_{i,j}^{s_1})_k, \quad \forall_{k \in I_2} (Q_{i,j})_k = (P_{i,j}^{s_2})_k$ .
    - 1.1.4. Генерируем случайные числа  $k_m \in 1..n, d \in N$  и  $mut \in 1..M$  ( $M$  – достаточно велико). Если  $mut/M > P_{mut}$ , то  $(Q_{i,j})_{k_m} = d$  (моделируется мутация с вероятностью  $P_{mut}$ ).
  - 1.2. Вычисляем вектор-среднее  $\bar{P}_{i,j} = \frac{1}{s_{\max}} \cdot \sum_{s=1}^{s_{\max}} \bar{P}_{i,j}^s$  (стереотип поведения адаптации к популяции точки  $i,j$ ).
2.  $\forall_{i \in 1..i_{\max}, j \in 0..j_{\max}}$  вычисляем вектор  $\bar{H}_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot ((\bar{P}_{i,j} + \bar{L}_{i,j}) + (\bar{P}_{i-1,j} + \bar{L}_{i-1,j}))$  (стереотип поведения гармоничного существования среди ландшафтов и популяций точек месторазвития  $(i,j)$  и  $(i-1,j)$ ).

3.  $\forall_{i \in 0..i_{\max}, j \in 1..j_{\max}}$  вычисляем вектор  $\bar{V}_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (\bar{P}_{i,j} + \bar{L}_{i,j}) + (\bar{P}_{i,j-1} + \bar{L}_{i,j-1})$  (стереотип поведения гармоничного существования среди ландшафтов и популяций точек месторазвития  $(i,j)$  и  $(i,j-1)$ ).

4.  $\forall_{i \in 1..i_{\max}, j \in 0..j_{\max}}$  моделируем экспансию в точку  $(i-1,j)$  для этого:

4.1. Вычисляем вероятность  $P_{i,j}$  (экспансия в точку  $(i-1,j)$ ):

4.1.1. Вычисляем  $E_{i,j}^s = \left| \bar{P}_{i-1,j}^s - \bar{H}_{i,j} \right|$  (уровень отклонения стереотипа поведения особи  $s$  точки  $(i-1,j)$  от гармонии среди ландшафтов и популяций точек  $(i,j)$  и  $(i-1,j)$ ).

4.1.2. Находим  $s_{\text{del}}$  из условия  $\forall_s E_{i,j}^s \leq E_{i,j}^{s_{\text{del}}}$  (найдена наиболее неадаптированная особь с индексом  $s_{\text{del}}$ ).

$$4.1.3. P_{i,j}(\text{экспансия в точку } (i-1,j)) = \frac{1}{1 + \frac{|\bar{O}_{i,j} - \bar{H}_{i,j}|}{E_{i,j}^{s_{\text{del}}}}}.$$

4.2. Генерируем случайное число  $q \in 1..M$  ( $M$  достаточно велико), и, если  $P_{i,j}(\text{экспансия в точку } (i-1,j)) > \frac{q}{M}$ , то

$\bar{P}_{i-1,j}^{s_{\text{del}}} = \bar{O}_{i,j}$  (стереотип поведения особи-“потомка” точки  $(i,j)$  замещает собой стереотип поведения наименее гармоничной особи популяции точки  $(i-1,j)$ ).

5. Аналогично моделируем экспансию в точки  $(i+1,j)$ ,  $(i,j-1)$  и  $(i,j+1)$ .

6.  $\forall_{i \in 0..i_{\max}, j \in 0..j_{\max}}$  моделируем взаимодействие массивов векторов  $\bar{P}_{i,j}$  и вектора  $\bar{L}_{i,j}$ :

$$\forall_{s \in 1..s_{\max}} \bar{P}_{i,j}^s = \bar{P}_{i,j}^s + \alpha \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot (\bar{P}_{i,j} + \bar{L}_{i,j}) - \bar{P}_{i,j}^s \right),$$

$\bar{L}_{i,j} = \bar{L}_{i,j} + \beta \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot (\bar{P}_{i,j} + \bar{L}_{i,j}) - \bar{L}_{i,j} \right)$ , где  $\alpha, \beta \in (0..1)$  коэффициенты адаптации популяции к ландшафту и ландшафта к популяции

соответственно.

**Результаты моделирования.** На основе предлагаемой модели создан программный продукт, позволяющий генерировать различные варианты этногенетического процесса. Предусмотрена возможность изменения следующих параметров модели:

- $n$  – размерность вектора стереотипа поведения,
- $i_{\max}, j_{\max}$  – число точек дискретного месторазвития по горизонтали и вертикали,
- $s_{\max}$  – размерность массивов популяций,
- $P, L$  – стартовые стереотипы поведения популяций и гармонии с ландшафтом,
- $P_{\text{mut}}$  – средняя доля “мутантов” в поколении особей-“потомков”,
- – доля адаптации популяции к ландшафту в единицу времени,
- – доля адаптации ландшафта к популяции в единицу времени.

Созданное средство моделирования позволяет наблюдать динамику функции стереотипа поведения популяций и адаптации к ландшафту в плоскости месторазвития. Ниже приведены несколько типичных временных срезов процесса.



Рис. 3. Визуализация процесса этногенеза.

Рассмотрены некоторые стандартные варианты инициализации этнического пространства, изученные и представленные в качестве примеров в пассионарной теории этногенеза. Для данных путей развития событий были получены результаты, хорошо соотносящиеся с пассионарной теорией этногенеза и историческими реалиями. Ниже приведены некоторые из них.

1. Достаточно широкий спектр значений параметров настройки модели (скорость мутаций  $P_{\text{mut}}$ , приспособляемость особей  $\alpha$  и ландшафтов  $\beta$ ) приводит к достижению автоколеба-



тельного режима. В данном режиме этническая система не требует энергии извне. Автоколебания этнического поля наблюдаются в модели при постоянном уровне мутаций. Таким образом, показано, что причины этногенеза могут быть инкапсулированы в самой биосфере.

2. Обнаружен гораздо более узкий класс значений параметров модели, при которых процесс, сохраняя автоколебания, обладает временной памятью. Это позволяет надеяться на возможность идентификации параметров на реальных объектах.

3. Проведены эксперименты по локализации основных эффектов теории:

а) в персистентном состоянии, при отсутствии внешних угроз (моделируется заданием стартовой комбинации однородных особей и ландшафта  $\forall_s \bar{\mathbf{P}}_{i,j}^s = \bar{\mathbf{L}}_{i,j}$ ) этнос существует бесконечно долго, почитая традиции (функции  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{L}$  сохраняют свои статистические характеристики);

б) в поздних стадиях развития (после надлома) этнос невосприимчив к попыткам вернуть утраченную пассионарность (моделируется реакция этноса на введение взвеси из высокопассионарных особей в различных стадиях его адаптации к ландшафту);

с) эффект гомеостаза ярко проявляется при моделировании двух разнотипных ландшафтов, населенных двумя абсолютно адаптированными этносами ( $\forall_{(i,j) \in U} \mathbf{P}_{i,j}^s = \bar{\mathbf{L}}_{i,j} = \bar{\mathbf{L}}^1$ ,  $\forall_{(i,j) \in U} \mathbf{P}_{i,j}^s = \bar{\mathbf{L}}_{i,j} = \bar{\mathbf{L}}^2$ ,  $\bar{\mathbf{L}}^1 \neq \bar{\mathbf{L}}^2$ ). При отсутствии мутаций ( $\mathbf{P}_{mut}=0$ ), автоколебательный процесс здесь не приводит к поглощению одного этноса другим. Не возникает и новых этносов, что говорит о важности механизма мутаций и возможной динамике уровня мутаций у реальных народов.

д) необходимым условием пассионарного толчка является наличие разнородных ландшафтов, что моделируется достаточно хорошо и объясняется наличием дополнительных степеней свободы генома смежных популяций разнородных ландшафтов.

4) Этнос проходит основные фазы своего развития. В модели этническая принадлежность определяется из условия, что направления векторов стереотипа поведения членов одного и того

же этноса отличаются мало, пассионарность особи рассматривается как величина отклонения ее вектора стереотипа поведения от гармоничного ( $E_{ij}^s = |\bar{P}_{i-1,j}^s - \bar{H}_{i,j}|$ ). Уровень пассионарного напряжения этноса есть среднее от пассионарности его членов.

5) Живучесть этноса обеспечивает не только высокая пассионарность, но и низкая пассионарность этноса-“соседа”. Имея одинаковую производную уровня пассионарного напряжения, один этнос поглощает другого за счет не совпадающих начал отсчета.

Моделирование вскрывает причины пассионарных толчков и спада активности этноса, что позволяет разрабатывать методы (стратегию управления), продлевающие активный период его существования. Любопытным является следующий эксперимент. Пусть несколько этносов имеют общие границы в узком кольце. Помещаем в кольцо “взвесь” разнородных пассионариев или резко меняем ландшафт. Визуально ярко видно, как этносы с большим числом субэтносов справляются с возникшей угрозой (потребностью в адаптации), а персистентные этносы отступают. Процесс этногенеза здесь резко нелинейный (бифуркация), но, несмотря на это, поддается прогнозированию.

#### **Перспективы моделирования.**

Известно достаточно большое число моделей процесса этногенеза, в том числе вероятностного поглощения и рассеивания энергии [4], развития в условиях ограниченности ресурсов [5] и другие. Упрощая, можно сказать, что все они требуют всего лишь наложения двух экспонент для получения характерных фаз этногенеза. Но такие модели не вскрывают причин этногенетического процесса и сложны для идентификации, так как имеют внешние параметры, суть и значения которых для реальных этносов нельзя определить. Предлагаемая автором модель позволяет рассчитывать на идентификацию, так как в ней отсутствуют внешние по отношению к этническому полю случайные факторы.

Программный комплекс целесообразно использовать для разработки сценариев, изучения режимов (построение областей значений параметров, ведущих к тем или иным результатам), что в дальнейшем позволило бы управлять процессом (теория

игр, оптимизация). Реализованная модель может служить советчиком при принятии решений по увеличению уровня пассионарности нации.

### **Литература.**

1. Гумилев Л.Н. «Конец и вновь начало» ДИ-ДИК. Москва, 1994. – 541с.
2. Бромлей Ю.В. «Этнос и этнография» «Наука». Москва, 1973. – 280с.
3. G. Winter «Genetic algorithms in engineering and computer sciences» Рос. нац. б-ка. СПб, 1999. – 464с.
4. Коробицын В.В. «Модель территориального распределения пассионарной энергии этноса» Математические структуры и моделирование. Омск, 2000. Вып. 5. С.44-53.
5. Крушель Е.Г., Сургутанов В.В. «Модель эволюции этносов и ее реализация на базе генетических алгоритмов» Математика, компьютер, образование. ИЦ “Регулярная и хаотическая динамика” Москва-Ижевск, 2002. Вып. 9. С. 308-317.