

А.А. Васин

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

**Эволюционная теория
игр и экономика¹
Часть 2. Устойчивость
равновесий.
Особенности эволюции
социального поведения**

Обсуждается вопрос о сходимости эволюционных моделей к смешанным равновесиям, включающим разные стратегии поведения. Рассматриваются модели распространения кооперации и альтруизма. Выясняются особенности эволюции социального поведения в сравнении с поведением в биологических популяциях.

Ключевые слова: *смешанное равновесие, сходимость, кооперация, альтруизм.*

Классификация JEL: C73.

1. Введение

Настоящая статья продолжает обзор основных понятий и результатов эволюционной теории игр (ЭТИ) с точки зрения моделирования экономического поведения. В первой части статьи (см. (Васин, 2009)) были изложены понятия популяционной игры, равновесия Нэша, эволюционно устойчивой стратегии и рассмотрены модели адаптивно-подражательного поведения (МАПП) и динамики репликаторов (МДР).

Главные выводы, полученные на основе изложенных в первой части обзора моделей, – это согласованность как эволюционной, так и адаптивной динамики поведения с принципами равновесия Нэша и исключения доминируемых стратегий. В общих предположениях всякое устойчивое состояние динамического процесса является равновесием Нэша, и обратно, всякое равновесие, удовлетворяющее некоторым дополнительным условиям (строгое равновесие или эволюционно устойчивая стратегия), является асимптотически устойчивым. Кроме того, для самовоспроизводящихся популяций модель естественного отбора показывает, что в них эндогенно формируется функция выигрыша, соответствующая индивидуальной приспособленности по Ч. Дарвину.

В этой части обзора мы обсудим три проблемы, решение которых оказалось невозможным в рамках описанной картины поведения и потребовало дальнейшего развития ЭТИ. В разд. 2 рассматривается проблема устойчивости смешанных равновесий, т.е. распределений по стратегиям, в которых более одной чистой стратегии используется с положительной частотой. Эта проблема возникает для межпопуляционных взаимодействий, в которых значение выигрыша для индивидуумов одной популяции зависит от распределения по стратегиям

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № 693.2008.1 и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-01-00249). Автор благодарен рецензенту за полезные замечания и ссылки на литературу.

в другой популяции, а также для внутрипопуляционных случайных столкновений при наличии ролевой асимметрии между участниками столкновения. Согласно Р. Сэлтону (Selten, 1980) для таких игр смешанные равновесия Нэша никогда не являются эволюционно устойчивыми, а строгих равновесий Нэша может не существовать. Таким образом, не работают достаточные условия устойчивости, указанные в первой части обзора. Первый результат, приводимый в разд. 2, показывает, что для широкого класса непрерывных динамических моделей всякое смешанное равновесие асимптотически неустойчиво по линейному приближению, т.е. $Re\lambda \geq 0$ для некоторого собственного значения λ якобиана в этой точке. Основное свойство обсуждаемых систем заключается в том, что каждое равновесие Нэша любой популяционной игры является их неподвижной точкой. Эти системы называются согласованными с равновесием Нэша, или кратко Н-согласованными системами.

В работе (Ritzberger, Weibull, 1995) для МДР доказано более сильное утверждение об отсутствии асимптотически устойчивых равновесий. Доказательство основано на том, что заменой времени МДР приводится к системе с нулевой дивергенцией. Ниже описан класс МАПП, для которых справедлив аналогичный результат. Основная особенность этих моделей – выбор альтернативной стратегии путем случайного подражания. В то же время указан другой тип МАПП, соответствующих моделям индивидуальной адаптации, для которых возможна сходимость к смешанному равновесию. Рассматриваются также динамические модели типа процесса фиктивного разыгрывания (Робинсон, 1961). Сходимость к смешанному равновесию установлена для довольно широкого класса биматричных игр, которые можно привести к антагонистическим путем известного линейного преобразования матриц выигрышей, сохраняющего равновесия Нэша.

В разд. 3 исследуется вопрос о распространении альтруистического и кооперативного поведения. Указанные формы поведения наблюдаются как в биологических, так и в социальных популяциях и, по-видимому, противоречат условию максимизации индивидуальной приспособленности. Ниже рассматривается модель, в которой индивидuum отличает своих близких родственников от чужаков и может выбирать стратегию поведения в зависимости от этого признака. Показано, что такое поведение в отношениях между родственниками является эволюционно устойчивым, если при этом максимизируется суммарная приспособленность семьи. Рассмотрены также факторы, ограничивающие распространение данных форм поведения.

Демографические данные показывают, что поведение в современных социальных популяциях не максимизирует ни индивидуальную, ни групповую приспособленность, хотя эти популяции, очевидно, являются самовоспроизводящимися. В разд. 4 обсуждается вопрос, почему упомянутые эволюционные модели и вытекающие из них ре-

зультаты непосредственно неприменимы к социальным популяциям. В этой связи рассматривается понятие супериндивида: самовоспроизводящейся структуры, которая использует человеческую популяцию как ресурс для собственного воспроизводства и способна влиять на динамику поведения в этой популяции. В качестве альтернативы для концепции «homo economicus» предлагается обобщение модели Гермейера–Вателя (Гермейер, Ватель, 1974), в котором целевая функция индивидуума связана, помимо индивидуального потребления и выживания, с выживанием и ростом включающих его супериндивидов. В заключение дается краткая библиография работ по ЭТИ.

2. Проблема устойчивости смешанных равновесий

Рассмотрим игру Γ двух популяций с наборами стратегий $R = \{R_1, \dots, R_m\}$ и $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ и функциями выигрыша $A_i(q)$, $i = 1, \dots, m$, $B_j(p)$, $j = 1, \dots, n$, которые показывают результат взаимодействия для всех стратегий. Предположим, что в обсуждаемой модели индивидуумы первой популяции взаимодействуют только с индивидуумами второй популяции, но не с индивидуумами своей популяции, и наоборот. В каждый момент времени t индивидуум применяет определенную стратегию. Пусть

$$p(t) = (p_1(t), \dots, p_m(t)) \in \Delta^m = \left\{ p \in R_+^m \mid \sum_i p_i = 1 \right\},$$

$$q(t) = (q_1(t), \dots, q_n(t)) \in \Delta^n = \left\{ q \in R_+^n \mid \sum_j q_j = 1 \right\} -$$

текущие распределения популяций по стратегиям. Точка $(p, q) \in \Delta^m \times \Delta^n$ называется равновесием Нэша игры Γ , если с положительными частотами используются лишь оптимальные стратегии: для любых i, j

$$(p_i > 0) \Rightarrow i \in \underset{u}{\text{Arg max}} A_u(q),$$

$$(q_j > 0) \Rightarrow j \in \underset{u}{\text{Arg max}} B_u(p).$$

Равновесие называется смешанным, если для любых i, j $p_i < 1$, $q_j < 1$. Легко убедиться, что для любой игры с непрерывными функциями выигрыша существует равновесие Нэша и в невырожденном случае число положительных координат в p и q одинаково. Пусть $p(t)$ и $q(t)$ изменяются согласно системе:

$$\begin{aligned} \dot{p}_i &= c(t, p(0), q(0)) G_i(p, A(q)), \quad i = 1, \dots, m, \\ \dot{q}_j &= d(t, p(0), q(0)) H_j(q, B(p)), \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (1)$$

Эта система называется H -согласованной, если она удовлетворяет следующим условиям.

1. Функции G_i и H_j равны нулю ($G_i(p, A) = 0$, $i = 1, \dots, m$, $H_j(q, B) = 0$, $j = 1, \dots, n$), если для распределений $p \in \Delta^m$, $q \in \Delta^n$ и векторов выигрыша $A = (A_1, \dots, A_m)$, $B = (B_1, \dots, B_n)$ выполнено:

$$\forall i \ (p_i > 0) \Rightarrow i \in \operatorname{Arg} \max_u A_u; \quad \forall j \ (q_j > 0) \Rightarrow j \in \operatorname{Arg} \max_v B_v.$$

Это означает, что каждое равновесие Нэша будет неподвижной точкой системы (1).

2. Функции c, d измеримы как функции от t и непрерывно дифференцируемы соответственно по $p(0), q(0)$, причем производные равномерно ограничены по t . Множество $\Delta^m \times \Delta^n$ является инвариантом системы (1). Вектор-функции A, B, G и H непрерывно дифференцируемы.

Отметим, что МДР и МАПП, описанные в части 1, удовлетворяют этим условиям.

Система (1) с помощью замены времени может быть сведена к автономной системе

$$\dot{p}_i = G_i(p, A(q)), \quad i = 1, \dots, m, \quad \dot{q}_j = H_j(q, B(p)), \quad j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

если для любых $t, p(0), q(0)$ имеем

$$\frac{c(p(0), q(0), t)}{d(p(0), q(0), t)} = \alpha(p(0), q(0)).$$

Этот случай соответствует взаимодействию между популяциями постоянных размеров или между индивидами одной популяции в разных ролях, например между «собственниками» некоторого ресурса и «захватчиками» (Maynard Smith, 1982).

Рассмотрим игру Γ, H -согласованную систему (1) и соответствующую автономную систему (2). Вспомним некоторые определения: неподвижная точка системы (2) называется вырожденной, если некоторое собственное значение λ якобиана равно нулю; точка является центром, если для любого собственного значения $\operatorname{Re} \lambda = 0, \operatorname{Im} \lambda \neq 0$; точка будет седлом, если для некоторого собственного значения $\operatorname{Re} \lambda > 0$.

Теорема 1 (Vasin, 1999). *Каждое смешанное равновесие (P^*, Q^*) является либо вырожденной точкой, либо центром, либо седлом системы (2). В последнем случае (P^*, Q^*) оказывается неустойчивой точкой системы (1) при любых допустимых функциях c, d .*

Данная теорема оставляет открытым вопрос об устойчивости точек равновесий типа «центр», для которых все собственные значения линеаризованной матрицы будут чисто мнимыми. Воспользуемся методом, развитым в работе (Ritzberger, Vogelsberger, 1990) и основанном на теореме Лиувилля.

Рассмотрим систему $\dot{\pi}(t) = \phi(\pi(t))$. Согласно этой теореме свободное от дивергенции поле (для которого $\operatorname{div} \phi(\pi) \equiv 0$) сохраняет любой объем постоянным и не может иметь асимптотически устойчивых состояний.

Опишем класс МАПП, для которых указанный метод позволяет прийти к выводу об отсутствии асимптотически устойчивых равновесий.

Теорема 2 (Васин, 2005). Пусть межпопуляционная МАПП вида

$$\dot{\pi}_j^k = -r_j^k \pi_j^k \sum_{i: j_i^k > j_j^k} q_{ji}^k \gamma_{ji}^k + \sum_{i: j_i^k < j_j^k} r_i^k \pi_i^k q_{ij}^k \gamma_{ij}^k, \quad j \in J^k, \quad k = 1, 2, \quad (3)$$

удовлетворяет следующим условиям: π^k не влияет на r_j^k, γ_{ji}^k (интенсивность перехода в адаптивное состояние и вероятность смены стратегии не зависят от распределения по стратегиям внутри данной популяции, хотя могут быть связаны с распределением по стратегиям в другой популяции, участвующей во взаимодействии); $q_{ji}^k = \pi_i^k$ (альтернативная стратегия выбирается путем случайного подражания другим членам популяции). Тогда любое смешанное равновесие не является асимптотически устойчивым. Если же вероятность выбора стратегии в качестве альтернативной для членов популяции не зависит от распределения по стратегиям в этой популяции, то в общих предположениях дивергенция векторного поля правых частей системы (3) отрицательна, и можно ожидать сходимости к смешанному равновесию.

Проблема сходимости к смешанным равновесиям рассматривалась в литературе также для итеративных и непрерывных процессов типа фиктивного разыгрывания, в частности процесса Брауна (Беленький и др., 1974; Робинсон, 1961). Для игры в нормальной форме обозначим через $p^a(t)$, $a \in A$, смешанные стратегии, применяемые на шаге t . Тогда дискретный процесс Брауна описывается соотношениями

$$p^a(t+1) = p^a(t)(1-t) + z^a(t)/t, \quad a \in A, \quad t \in Z_+,$$

где

$$z^a(t) \in \text{Arg max}_{p^a \in P_0^a} u^a(p(t) \| p^a),$$

u^a – функция выигрыша игрока a в смешанных стратегиях, P_0^a – множество вырожденных смешанных стратегий игрока a , соответствующее множеству его чистых стратегий. Применительно к динамике поведения во взаимодействующих популяциях процесс можно интерпретировать как адаптивный следующим образом: после каждого периода $t \geq 2$ доля $1/t$ каждой популяции меняет свою стратегию на один из наилучших ответов. Г. Браун предположил, а Дж. Робинсон (Робинсон, 1961) доказала сходимость дискретного процесса для антагонистических биматричных игр. В работе (Богданов, 1999) на основе результатов (Беленький и др., 1974) были получены наиболее общие известные условия сходимости указанных процессов для биматричных игр и доказано, что гарантировать сходимость можно для всех биматричных игр, которые сводятся к антагонистической при помощи следующих преобразований:

- а) добавление константы к столбцу платежной матрицы первого игрока;
- б) добавление константы к строке платежной матрицы второго игрока;
- в) домножение платежной матрицы на положительную константу.

Известно, что указанные преобразования задают классы игр с одинаковыми множествами равновесий Нэша. Однако полученные

результаты нельзя распространить для неантагонистических игр общего вида. Процесс фиктивного разыгрывания не сходится для примера Шепли, где матрицы выигрыша игроков имеют вид:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Если в качестве начальной точки игроки выберут пару чистых стратегий $(i_0, j_0) = (1, 1)$, то наилучшие ответы в последующие моменты времени будут следовать циклу

$$(1, 1) \rightarrow (1, 3) \rightarrow (3, 3) \rightarrow (3, 2) \rightarrow (2, 2) \rightarrow (2, 1) \rightarrow (1, 1).$$

При этом число периодов, в которые процесс будет находиться в каждом из этих состояний, будет экспоненциально возрастать. Для некоторых неантагонистических игр, в частности для примера Шепли, в работе (Gaunersdorfer, Hofbauer, 1995) было установлено, что траектории процесса фиктивного разыгрывания ведут себя так же, как средние по времени МДР и эквивалентные ей МАПП. Это означает, что не только траектории таких МАПП не сходятся к равновесию в примере Шепли, но и их средние по времени также не сходятся.

Лучшие свойства (в смысле сходимости к смешанным равновесиям) демонстрируют некоторые более сложные адаптивные динамики. В работе (Shamma, Arslan, 2003) рассматривается следующая модификация непрерывного процесса фиктивного разыгрывания для игры двух лиц:

$$\begin{aligned} \dot{q}^1 &= \beta^1(q^2 + \gamma\lambda(q^2 - r^2)) - q^1, \\ \dot{q}^2 &= \beta^2(q^1 + \gamma\lambda(q^1 - r^1)) - q^2, \\ \dot{r}^1 &= \lambda(q^1 - r^1), \\ \dot{r}^2 &= \lambda(q^2 - r^2), \end{aligned} \tag{4}$$

где q^a – текущая оценка смешанной стратегии игрока a ; $\beta^a(p^{-a})$ – некоторый наилучший ответ игрока a на стратегию p^{-a} партнера. Идея состоит в том, что величина $\lambda(q^a - r^a)$ при достаточно больших λ аппроксимирует значение $\dot{q}^a$, т.е. наилучший ответ строится для будущей стратегии. Для примера Шепли условием локальной стабильности равновесия для системы (4) является $0.0413 < \gamma / (1 - \gamma) < 0.0638$.

В работе (Shamma, Arslan, 2003) также рассматриваются градиентные модели динамики, в которых смешанная стратегия каждого игрока меняется в направлении градиента его функции выигрыша. Показано, что если градиент вычисляется для текущей стратегии партнера, то равновесие Нэша никогда не является локально устойчивым для системы. Если, однако, считать градиент для будущей стратегии партнера, определяемой так же, как в случае фиктивного разыгрывания, то соответствующий выбор γ обеспечивает устойчивость.

3. О распространении альтруизма и кооперации

В этом и следующем разделах обсудим, как принцип максимизации индивидуальной приспособленности соотносится с реальным поведением в биологических и социальных популяциях и какие дополнения следует ввести в модели для более точного отражения реальной эволюции поведения. Сначала остановимся на поведении в биологических популяциях. Общее мнение биологов состоит в том, что реальное поведение в основном не противоречит этому принципу (III Congress, 1991). Есть, правда, известные исключения – это кооперация и альтруизм. Понятия кооперативного и альтруистического поведения можно пояснить с помощью различных вариантов известной игры «дилемма заключенного». В этой симметричной игре двух лиц у каждого игрока есть две стратегии поведения: кооперативная (К) и эгоистичная (Э). В качестве примера приведем следующую матрицу выигрышей:

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{c} \text{К} \quad \text{Э} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{К} \\ \text{Э} \end{array} & \begin{pmatrix} (5, 5) & (1, 6) \\ (6, 1) & (2, 2) \end{pmatrix} \end{array}$$

В общем случае предполагается, что при любом поведении партнера выгоднее эгоистичная стратегия ($u_{\text{ЭЭ}} > u_{\text{КЭ}}$, $u_{\text{ЭК}} > u_{\text{КК}}$), и в то же время суммарный выигрыш максимален, когда оба действуют кооперативно ($u_{\text{КК}} > (u_{\text{ЭК}} + u_{\text{КЭ}})/2$, $u_{\text{КК}} > u_{\text{ЭЭ}}$). В данной игре существует единственная точка равновесия Нэша, которая соответствует эгоистичному поведению и является также решением по доминированию. Известно, однако, что в реальности игроки в подобных ситуациях часто ведут себя кооперативно.

Еще в большей степени отклоняется от максимизации индивидуальной приспособленности альтруистическое поведение. Рассмотрим следующую матрицу выигрышей (А – альтруистическое поведение, Э – эгоистичное поведение):

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{c} \text{А} \quad \text{Э} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{А} \\ \text{Э} \end{array} & \begin{pmatrix} (5, 5) & (1, 10) \\ (10, 1) & (2, 2) \end{pmatrix} \end{array}$$

Здесь альтруистическое поведение одного из партнеров в сочетании с эгоистичным поведением другого соответствует максимизации суммарной приспособленности. При этом альтруист получает меньше своего гарантированного выигрыша, который он мог бы получить в равновесии Нэша. В качестве примера кооперации в биологических популяциях отметим поведение животных, которые по очереди выполняют функцию сторожа. Сторож стоит на страже и подает сигнал при появлении хищника. Выгодные отклонения от этого поведения:

- не следить за хищником и не подавать сигнал о его приближении;
- следить за хищником, но не подавать сигнал.

Дело в том, что сигнал привлекает хищника к тому, кто его подает. Если ни один член популяции не будет выполнять функцию сторожа, то все проиграют.

Другим примером является совместная охота группы хищников, при этом эгоисты экономят затраты энергии в процессе охоты в ущерб общей эффективности (Акимушкин, 1985).

Что касается альтруизма, то его примеры наблюдаются в отношениях между родственниками. Альтруизм родителей по отношению к детям – явление достаточно распространенное, оно не противоречит концепции максимизации приспособленности, так как она равна сумме рождаемости и выживаемости. И если за счет приносимой жертвы индивидuum спасает своих детей, это может быть оптимальным с точки зрения индивидуальной приспособленности. Интересны проявления альтруизма, не связанные с максимизацией индивидуальной приспособленности. Они наблюдаются у общественных насекомых. Это пчелы, муравьи, термиты. В этих популяциях часть индивидуумов свою приспособленность не максимизируют, так как потомства они не оставляют, но при этом бесстрашно нападают на любого агрессора и жертвуют собой, защищая семью. Объяснение состоит в том, что индивидуумы, входящие в семьи общественных насекомых, являются близкими родственниками. Недостаток модели прямого наследования состоит в том, что она учитывает только связь «родитель–ребенок» и не рассматривает связи типа «брат–сестра». Учитывая эти связи, можно объяснить распространение альтруистического поведения в смысле максимизации приспособленности группы родственников.

Опишем соответствующую модель. Предположим, что взаимодействие в популяции характеризуется множеством стратегий S и функциями приспособленности $f_s(\pi)$, $s \in S$. Но в отличие от моделей, описанных в первой части обзора, индивидuum способен различать сибсов, т.е. родных братьев или сестер, среди других членов популяции и выбирать стратегию в зависимости от этого признака. Таким образом, полная стратегия (s, s') включает компоненту s , применяемую к сибсам, и s' для прочих индивидуумов. В данный период времени индивидuum с некоторой интенсивностью $\lambda_r \in (0, 1)$ взаимодействует с сибсами, а с интенсивностью $1 - \lambda_r$ – с остальными индивидуумами из популяции. Общая приспособленность аддитивно зависит от результатов взаимодействия с родственниками и с остальной частью популяции:

$$\bar{f}_{(s, s')}(\pi') = \lambda_r f_s^r(s) + (1 - \lambda_r) f_{s'}(\pi'),$$

где $f_s^r(s)$ – функция, описывающая результаты взаимодействия с сибсами, π' – распределение по компоненте s' . Предполагается, что все сибсы применяют одну (унаследованную) стратегию. Таким образом, взаимодействие характеризуется популяционной игрой

$$\bar{G} = \left\langle \bar{S} = \{(s, s') \in S \times S\}, \quad \bar{f}_{s, s'}(\bar{\pi}) = \lambda_r f_s^r(s) + (1 - \lambda_r) f_{s'}^r(\pi') \right\rangle,$$

где $\bar{\pi}$ – распределение по полным стратегиям.

Теорема 3. Любая стратегия (s, s') , в которой $s \notin \text{Arg max}_i f_i^r(i)$, строго доминируется стратегией (s^*, s') , где $s^* \in \text{Arg max}_i f_i^r(i)$. Распределение $\bar{\pi}$ является равновесием Нэша в том и только том случае, если для всех указанных неоптимальных стратегий $\pi_{ss'} = 0$, а соответствующее распределение π' является равновесием Нэша для игры $\langle S, f_{s'}(\pi') \rangle$.

Таким образом, в отношениях типа «дилеммы заключенного» сибсы используют кооперативную стратегию применительно друг к другу. Чтобы объяснить распространение альтруистического поведения, рассмотрим следующую модификацию модели. Если отказаться от предположения об одинаковом состоянии сибсов и считать, что они могут оказаться в разных ролях (например, доминирующей и подчиненной), а стратегия и функция приспособленности могут зависеть от роли, то полная стратегия в отношении родственников задается парой $s = (s_\alpha, s_\beta) \in S \times S$. В результате исключения строго доминируемых стратегий остаются только стратегии $s^* = (s_\alpha^*, s_\beta^*) \rightarrow \max_{(s_\alpha, s_\beta)} (f^\alpha(s) + f^\beta(s))$,

обеспечивающие максимум суммарной приспособленности. На основании теоремы 3 можно сделать вывод, что эволюция поведения в самовоспроизводящихся популяциях ведет к формированию поведения, максимизирующего суммарную приспособленность сибсов. Хотя в последней модели неявно заключено ограничение на эволюционный механизм, определяющий динамику распределения по стратегиям в отношении родственников, это ограничение не является существенным: любой другой механизм будет проигрывать реализующему оптимальную стратегию s^* , указанную в теореме 3.

Отметим, что указанные результаты допускают обобщение на отношения кузенов, троюродных родственников и т.д. Действительно, пусть стратегия включает варианты поведения $s_1, \dots, s_k$ в отношении родственников различных степеней от 1 до k и вариант s' в отношении прочих индивидуумов, а функция приспособленности представима в виде

$$f_s(\pi) = \sum \lambda_i f_{si}^i(s_i) + (1 - \sum \lambda_i) f_{s'}^r(\pi'),$$

где $\lambda_i \in (0, 1)$ характеризует интенсивность взаимодействия с родственниками степени i . Как и выше, предполагается, что все родственники применяют в отношении друг друга одну и ту же стратегию, что соответствует модели прямого наследования и не ограничивает общности в рамках изложенной модели отбора эволюционных механизмов. Очевидно, что исключение строго доминируемых стратегий ведет к оптимизации родственных отношений: остаются такие стратегии s^* , для которых

$$si^* \in \text{Arg max}_{si} f_{si}^i(si), \quad i = 1, \dots, k.$$

Как в биологических, так и социальных популяциях с низким уровнем миграции взаимодействующие индивидуумы обычно имеют общих предков, по крайней мере в седьмом поколении. Действительно, рассмотрим двух индивидуумов, случайно выбранных из популяции численностью 10^6 . Докажем от противного: пусть у них нет общих предков в предшествующих семи поколениях. Тогда семь поколений назад у каждого из них было 64 предка каждого пола. Пусть численность популяции в это время составляла 10^4 , что соответствует в среднем четырем детям на семью в этих поколениях. Необходимое условие для отсутствия общих предков состоит в том, что ни одна из женщин-предков одного индивидуума не вышла замуж за предка-мужчину другого индивидуума. Вероятность такого события $(1 - 64/5900)^{129} < 0,1$. Согласно изложенным результатам следовало бы ожидать повсеместного распространения кооперативного и альтруистического поведения, направленного на максимизацию суммарной приспособленности. Однако реальное поведение зачастую не соответствует принципам «возлюби ближнего своего как самого себя» или «человек человеку друг, товарищ и брат». Да и в биологических популяциях указанные формы поведения не являются доминирующими. Хорошо известны примеры жестокой конкуренции между близкими родственниками, вплоть до поедания детенышей друг у друга. Одна из причин ограниченного распространения кооперативного поведения – его неустойчивость к внедрению мутантов-эгоистов.

Представим популяцию, в которой выработался принцип кооперативного поведения, т.е. все индивиды используют стратегию s^* , максимизирующую общую приспособленность. Пусть происходит мутация – появляется индивидуум, который максимизирует индивидуальную приспособленность, реализуя $s' \rightarrow \max_s f_s(s^*)$. В первом поколении такой индивидуум получит репродуктивное преимущество, так как все к нему будут максимально благожелательны, а он будет использовать эгоистичную стратегию. Во втором поколении его потомки будут в относительно менее выгодном положении, поскольку столкнутся друг с другом. В общем случае все будет зависеть от соотношения коэффициентов λ_i . Но обычно доля взаимодействия с внешней средой выше доли взаимодействия с ближайшими родственниками. Таким образом, доля потомков этого индивидуума будет расти в популяции до тех пор, пока доля внутриродственных отношений не станет доминировать. Итак, мы видим, что оптимальная стратегия оказывается неустойчивой к мутациям. Другим фактором, ограничивающим распространение кооперативного поведения, является неспособность многих людей отличить при случайных взаимодействиях дальних родственников от чужаков.

Применительно к социальным популяциям возникает следующая задача. Поскольку для разных наций характерно различное соотношение интенсивностей внутриродственных и внешних взаимодействий, то интересно определить степени альтруизма и кооперации в равновесии Нэша в зависимости от этих параметров и интенсивности мутаций.

Отметим, что проблеме распространения кооперативного и альтруистического поведения посвящено множество работ (см. в (Axelrod, 1984) библиографические ссылки). Например, теория повторяющихся игр объясняет распространение кооперации в повторяющихся конфликтных ситуациях с одними и теми же участниками, исходя из оптимизации индивидуальных функций приспособленности. Повторяемость дает возможность наказывать тех, кто отклоняется от кооперативного поведения. В результате с учетом наказаний оказывается индивидуально выгодно вести себя кооперативно. В рассмотренных выше моделях это не так. И, тем не менее, вырабатывается кооперативное поведение за счет отбора механизмов наследования стратегий.

4. Особенности эволюции поведения в социальных популяциях. Сверхиндивиды. Их воздействие на целевые функции и процессы воспроизводства наций

В современных социальных популяциях поведение не максимизирует ни индивидуальную, ни групповую приспособленность. Возьмем государства социального благосостояния, такие как Швеция или Германия. Там любому новорожденному гражданину, независимо от его социального происхождения, гарантированы условия, обеспечивающие высокую вероятность выживания и нормального биологического развития. Тем не менее, как показывают демографические данные, коренное население в массе пренебрегает благоприятной возможностью для воспроизводства. В конце XX в. ВВП на душу населения в Германии и Швеции примерно в десять раз превышал этот показатель для России. В то же время рождаемость в трех странах была одинаково низкой: 9–10 человек на 1000, что не обеспечивало простого воспроизводства населения. Проведенный в то время социологический опрос жителей Стокгольма показал, что около 70% взрослого населения не имели детей и не планировали обзаводиться ими (World population prospects, 1996).

Почему же для социальных популяций не работают изложенные выше эволюционные модели? Отметим важнейшие факторы, объясняющие такое несоответствие.

1. В социальных популяциях практически невозможно реализовать наследование детьми стратегий родителей. Стратегии поведения настолько сложны, а среда настолько изменчива, что индивидууму пришлось бы потратить основную часть жизни на обучение потомков. Уже на ранних стадиях развития человечества возникло разделение

труда и, в частности, институт учителя, специально занимающийся обучением и воспитанием нового поколения (Моисеев, 1999). Позднее государство, церковь и другие субъекты общественной жизни осознали роль этого института и эффективно использовали его для формирования желательного поведения.

2. Задача оценки различных стратегий поведения с точки зрения их влияния на приспособленность нередко сложна даже для теоретического анализа. На практике же решения обычно принимаются в условиях ограниченного времени субъектами, не способными провести такую оценку. В ходе биологической эволюции выработались различные механизмы, позволяющие быстро принимать решения, которые в среднем оказываются оптимальными с точки зрения приспособленности.

Одним из таких механизмов является чувство удовольствия, удовлетворения, связанное с потреблением пищи, комфортными условиями обитания, отдыхом. В природе удовольствие и приспособленность согласованы между собой: действия, приносящие удовольствие или направленные на его достижение, обычно являются рациональными с точки зрения индивидуального воспроизводства. В частности, потребление пищи и других ресурсов, как правило, необходимо для воспроизводства. (Подобные ситуации имеют место и в социальных системах. Для них модель «homo economics» согласуется с оптимизацией индивидуальной приспособленности.) Избыточность ресурсов и вредное потребление возникают в природе очень редко. Известный пример такого рода для экологических систем связан с взаимоотношениями жука ламехузы и некоторых видов муравьев (Акимушкин, 1985). Муравьи питаются секретом, выделяемым этим жуком. Иногда потребляемый секрет действует на них как наркотик: муравьи выбрасывают из муравейника самку, а на ее место сажают ламехузу и кормят с тем, чтобы получить как можно больше секрета. Через некоторое время муравейник погибает...

Для экосистем этот пример является исключительным. Ситуация в современных человеческих популяциях совсем иная. Множество людей потребляют большие количества алкоголя, табака, пищевых продуктов и других товаров, которые вредны или, по крайней мере, бесполезны с точки зрения воспроизводства. Многие семьи тратят всю жизнь на то, чтобы зарабатывать деньги для такого потребления и в конце концов оставляют только одного потомка или вовсе не имеют детей.

Другим вспомогательным механизмом, широко используемым при выборе стратегий в группах животных, служит подражание лидеру. В природных популяциях этот механизм способствует обучению и позволяет координировать действия членов группы, повышая их приспособленность. В социальных системах он создает дополнительную возможность для манипулирования поведением путем выбора подходящего лидера или образца для подражания.

Все упомянутые способы воздействия на поведение (контроль над процессом обучения, использование стремления к удовольствию и механизма подражания) практиковались с глубокой древности. Однако качественно новая ситуация возникла в связи с развитием СМИ в XX в. В настоящее время телевидение дает возможность влиять на поведение миллиардов людей, одновременно выступая в роли учителя и создавая образцы для подражания.

Обратимся теперь к вопросу, кто или что воздействует на целевые функции, формируя поведение индивидуумов в социальных популяциях. В рассмотренных примерах для экосистем мы столкнулись с двумя различными вариантами. В примере с ламехузой манипулятором является индивид другой популяции. Взаимоотношения двух популяций подобны взаимодействию «хищник–жертва», а исход зависит от ряда факторов, включая наличие альтернативных видов жертв для манипуляторов и долю жертв, устойчивых к оказываемому воздействию. В примере с общественными насекомыми поведение индивидуума формируется самовоспроизводящимся супериндивидом – семьей. Подавляя индивидуальное воспроизводство отдельных особей, данный механизм регулирования вместе с тем обеспечивает эффективное воспроизводство супериндивидов и популяции в целом.

Вообще супериндивид, относящийся к некоторой биологической или человеческой популяции, представляет собой самовоспроизводящуюся структуру, включающую в качестве элементов или использующую как ресурс индивидуумов базовой популяции наряду с другими материальными и нематериальными компонентами. При обсуждении поведения в социальных системах в качестве аналога базовой популяции мы рассматриваем население страны (нацию). Наряду с самовоспроизводящимися супериндивидами, имеющими биологическую природу (семья, род), в социальных популяциях существуют супериндивиды, имеющие социально-экономическую природу (корпорации, научные и художественные школы, общественные и религиозные организации, государственные институты). Вместо размножения путем репликации супериндивид может расти, включая в себя все больше людей и других ресурсов, или деградировать. В социальных системах супериндивиды активно влияют на формирование поведения людей с целью обеспечить собственное воспроизводство и рост. Чем интенсивнее специфическая деятельность включенных индивидуумов, тем успешнее развивается супериндивид. Поскольку ресурсы каждого человека ограничены, супериндивид часто подавляет другие формы активности, в частности индивидуальное воспроизводство.

Исходя из изложенных соображений и результатов, можно сформулировать гипотезу о том, что индивидуальные целевые функции в современном обществе в значительной степени определяются супериндивидами, которые формируют их таким образом, чтобы обе-

спечить собственное воспроизводство и рост. Иначе говоря, динамические модели конкуренции и отбора и связанные с ними принципы оптимальности следует формулировать и применять на уровне супериндивидов.

Анализ таких моделей, связанных с конкуренцией корпораций (Поспелов, 1989; Schaffer, 1989; Vega-Redondo, 1997), дал полезные результаты с точки зрения эндогенного определения функций выигрыша. Для исследования других социально-экономических процессов следует использовать модели взаимодействия и естественного отбора самовоспроизводящихся индивидов различной природы. Ввиду сложности социальных систем не представляется возможным в ближайшее время построить замкнутую количественную модель эволюции социального поведения, подобную модели динамики репликаторов. Тем не менее концепция конкуренции супериндивидов и их влияния на социальное поведение помогает в анализе конкретных вопросов экономики и социологии. В частности, данная концепция позволяет предложить модель целенаправленного поведения человека, преодолевающую отмеченные недостатки моделей «человека экономического» и «человека биологического». Здесь развивается подход, предложенный в работе (Гермейер, Ватель, 1974). Стратегией индивидуума (выбираемой сознательно или подсознательно) является распределение его времени и других ресурсов на разные виды деятельности. От этого распределения s^a , а также неконтролируемых им факторов z зависят значения вспомогательной функции полезности u_0^a , отражающей удовольствие от потребления, и параметры воспроизводства:

- 1) его самого (выживаемость u_1^a),
- 2) его семьи (приспособленность u_2^a),
- 3) различных супериндивидов, в которые он входит (параметры $u_j^a, j = 3, 4, \dots$, характеризуют состояния структур, на которые индивидуум тратит свою энергию).

Выбирая стратегию s^a , он максимизирует некоторую свертку этих функций. В упомянутой работе рассматривается свертка вида $\min_i ([u_i^a(s^a, z) - w_i^a(z)] / \lambda_i^a)$, которую можно интерпретировать следующим образом: w_i^a – минимальное приемлемое в данных условиях значение показателя u_i^a , λ_i^a – коэффициент важности увеличения этого показателя относительно минимального приемлемого уровня. Согласно данному критерию индивидуум затрачивает ресурсы прежде всего на увеличение наиболее неблагоприятных показателей. Реальное поведение далеко не всегда соответствует такой свертке. Нередко индивидуум использует ресурсы в том направлении, где видит наибольший эффект от их вложения (формально это соответствует замене минимума на максимум в указанном выражении). Разные люди характеризуются различными видами свертки и значениями коэффициентов.

Отметим связь данной модели с классификацией, предложенной Л.Н. Гумилевым (Гумилев, 1993). Он выделяет следующие типы индивидуумов.

Гармоничные люди – индивидуумы, производящие столько работы, сколько требуется для поддержания своей жизни и жизни потомства. Формально этот тип максимизирует комбинацию индивидуальной и семейной приспособленности.

Субпассионарии – люди, неспособные контролировать свои вождения, даже если удовлетворение этих вождений приносит вред и им, и окружающим. Такие люди не заботятся о потомстве и формально максимизируют u_0^a .

Пассионарии – индивидуумы, обладающие повышенной энергией. Осуществляют работу по изменению окружающей среды. При этом их активность не связана ни с материальными благами, ни с удовольствиями, ни с индивидуальным или семейным воспроизводством. Трудоголики, обеспечивающие производственные и экономические успехи корпораций, эффективную работу государственных структур, люди науки и искусства, развивающие свою область, не ориентируясь на материальное вознаграждение, – всех их следует рассматривать как пассионариев в указанном смысле.

С точки зрения социально-экономического моделирования большой интерес представляет соотношение численностей гармоничных, пассионарных и субпассионарных граждан, а также их распределение среди самовоспроизводящихся структур различных типов. Сбор и обработка соответствующих данных являются актуальной задачей социологии и экспериментальной экономики.

5. Краткий библиографический очерк

Основные понятия и идеи ЭТИ сформулированы в работах (Maynard Smith, Price, 1973; Maynard Smith, 1974) и монографии (Maynard Smith, 1982). Различные варианты МДР исследовались в работах (Bomze, 1986; Hofbauer, Sigmund, 1988; Samuelson, Zhang, 1992) и др. В (Taylor, Jonker, 1978) доказана теорема об асимптотической устойчивости ЭУС для МДР; в (Семевский, Семенов 1982) установлена связь устойчивых и предельных состояний МДР с равновесиями Нэша. Для случайных взаимодействий в малых группах связь равновесий Нэша популяционных и межпопуляционных игр с равновесиями соответствующих игр в нормальной форме получена в работах (Васин 1987, 1989а). Отсутствие иных ЭУС, кроме строгих равновесий, при наличии ролевой асимметрии в случайных столкновениях доказано в (Selten, 1980). Понятие согласованной динамики поведения и теоремы об исключении строго доминируемых стратегий на траекториях таких динамик, в том числе для МДР, изложены в (Васин, 1987, 1989б). В работе (Васин, 1989б) уточняется понятие доминирования смешанной стратегии для динамических моделей с дискретным временем в связи с приме-

ром, приведенным в работе (Dekel, Scotchmer, 1992). Похожий класс согласованных динамик, а также пример адаптивно-подражательной модели, эквивалентной МДР, описаны в работе (Nachbar, 1990). Более общие классы адаптивных динамик и МАПП, обладающих аналогичными свойствами, можно найти в (Weibull, 1995; Васин, Богданов, 2002).

В ряде работ рассматривается проблема устойчивости смешанных равновесий при наличии ролевой асимметрии и для межпопуляционных взаимодействий. В (Schuster et al., 1981) показано, что для МДР такие равновесия никогда не являются асимптотически устойчивыми по линейному приближению. В работе (Vasin, 1999) описан класс эволюционных и адаптивных динамик, для которых справедливо то же утверждение. В (Schuster, Sigmund, 1983) приводится пример согласованной динамики, для которой смешанное равновесие является асимптотически устойчивым. Класс адаптивных процессов, для которых смешанное равновесие любой игры с нулевой суммой обладает этим свойством, анализируется в монографии (Беленький и др., 1974). Обобщение их результатов для игр с непротивоположными интересами дано в (Богданов, 1999). Адаптивный процесс, сходящийся к равновесию в примере Шепли, исследован в (Shamma, Arslan, 2003). Дальнейший анализ этой проблематики см. в (Hart, Mas-Colell, 2006).

Модель отбора эволюционных механизмов и теорема об индивидуальной приспособленности как эндогенной целевой функции сформулированы в (Васин, 1995). Подобный результат в терминах эволюции предпочтений получен в (Ok, Vega-Redondo, 2001). Модели распространения кооперации и альтруизма среди родственников обсуждаются в монографиях Дж. Мейнарда Смита и (Axelrod, 1984). Результаты разд. 2 опубликованы в (Васин, 1995).

Особенности эволюции поведения в социальных популяциях рассматривались в (Wilson, 1975; Cavalli-Sforza, Feldman, 1981; Васин, 1995; Vasin, 2005). В последних двух работах обсуждаются современные демографические процессы с точки зрения ЭТИ.

Обобщения моделей естественного отбора для конкуренции корпораций разработаны в (Поспелов, 1989; Schaffer, 1989; Vega-Redondo, 1997). Дальнейшее развитие этого направления можно найти в (Duffy et al., 2008).

В работе (Schaffer, 1988) предложено обобщение понятия ЭУС для взаимодействий с конечным числом участников. Эта же тема рассмотрена в (Hehenkamp et al., 2004).

В последнее время интенсивно разрабатываются приложения ЭТИ к моделированию взаимодействий в компьютерных сетях, см. (Altman et al., 2008).

Литература

Акимускин И. (1985): Невидимые нити природы. М.: Мысль.

Беленький В.З., Волконский В.А., Иванков С.А. и др. (1974): Итеративные методы в теории игр и программировании. М.: Наука.

- Богданов А.В.** (1999): Об условиях сходимости итерационного метода Брауна-Робинсона для биматричных игр. В сб.: «*Прикладная математика и информатика*». № 2.
- Васин А.А.** (1987): О моделировании динамики коллективного поведения В сб.: «*Системное программирование и вопросы оптимизации*». М.: Изд-во МГУ.
- Васин А.А.** (1989а): Модели динамики коллективного поведения. М.: Изд-во МГУ.
- Васин А.А.** (1989б): Методы теории игр в исследовании динамики коллективного поведения // *Вестник МГУ. Сер. 15. № 2. С. 55–60.*
- Васин А.А.** (1995): О некоторых проблемах теории коллективного поведения // *Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 2. Вып. 4.*
- Васин А.А.** (2005): Некооперативные игры в природе и обществе. М.: МАКС Пресс.
- Васин А.А.** (2009): Эволюционная теория игр и экономика. Часть 1. Принципы оптимальности и модели динамики поведения // *Журнал Новой экономической ассоциации. № 3–4.*
- Васин А.А., Богданов А.В.** (2002): Модели адаптивно-подражательного поведения: I. Связь с равновесиями Нэша и решениями по доминированию. Теория и системы управления // *Известия Российской академии наук. № 1. С. 102–111.*
- Гермейер Ю.Б., Ватель И.А.** (1974): Игры с иерархическим вектором интересов // *Известия. АН СССР. Техническая кибернетика. № 3. С. 54–69.*
- Гумилев Л.Н.** (1993): Этносфера: История людей и история природы. М.: Экспресс.
- Моисеев Н.Н.** (1999): Быть или не быть ... человечеству. М.: Ульяновский Дом печати.
- Поспелов И.Г.** (1989): Эволюционный принцип в описании экономического поведения: Дис. доктора физ.-мат. наук. М.: ВЦ АН СССР.
- Робинсон Дж.** (1961): Итеративный метод решения игр. В сб.: «*Матричные игры*». М.: Физматгиз.
- Семевский Ф.И., Семенов С.М.** (1982): Математическое моделирование экологических процессов. Л.: Гидрометеиздат.
- Altman E., El-Azouzi R., Hayel Y., Tembine H.** (2008): Evolutionary Power Control in Wireless Networks. Networking 2008. LNCS 4982. P. 930–942.
- Axelrod R.** (1984): The Evolution of Cooperation. N.Y.: Basic Books.
- Bomze I. M.** (1986): Non-Cooperative Two Person Games in Biology: a Classification // *International Journal of Game Theory. № 15.*
- Cavalli-Sforza L.L., Feldman M.W.** (1981): Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach. Princeton: Princeton University Press.
- Dekel E., Scotchmer S.** (1992): On the Evolution of Optimizing Behavior // *Journal of Econ. Theory. № 57.*
- Duffy J., Matros A., Temzelides T.** (2008): Competitive Behavior in Market Games: Evidence and Theory. Working Paper. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.pitt.edu/~alm75/cv.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
- Gaunersdorfer A., Hofbauer J.** (1995): Fictitious play, Shapley polygons, and The Replicator Equation // *Games and economic behavior. № 11.*
- Hart S., Mas-Colell A.** (2006): Stochastic Uncoupled Dynamics and Nash Equilibrium // *Games and Economic Behavior. Vol. 57. № 2. P. 286–303.*
- Hehenkamp, B., Leininger W., Possajennikov A.** (2004): Evolutionary Equilibrium in Tullock Contests: Spite and Overdissipation // *European Journal of Polit. Econ. № 20. P. 1045–1057.*
- Hofbauer J., Sigmund K.** (1988): Dynamical Systems and the Theory of Evolution. Cambridge: Cambridge University Press.
- III Congress(1991): IIIrd Congress of E.S.E.B. Abstracts. Debrecen, Hungary: Debrecen University Press.
- Maynard Smith J.** (1974): The Theory of Games and the Evolution of Animal Conflict // *Journal of Theoretical Biology. № 47. P. 209–221.*
- Maynard Smith J.** (1982): Evolution and the Theory of Games. Cambridge: Cambridge University Press.

- Maynard Smith J., Price G.R.** (1973): The Logic of Animal Conflict // *Nature*. Vol. 246. P. 15–18.
- Nachbar J.** (1990): Evolutionary Selection Dynamics in Games: Convergence and Limit Properties // *International Journal of Game Theory*. № 19.
- Ok E.A., Vega-Redondo F.** (2001): On the Evolution of Individualistic Preferences: An Incomplete Information Scenario // *Journal of Econ. Theory*. Vol. 97(2). P. 231–254.
- Ritzberger K., Vogelsberger K.** (1990): The Nash field. RRAA 263. Vienna: Institute for Advanced Studies.
- Ritzberger K., Weibull J.W.** (1995): Evolutionary Selection in Normal-Form Games // *Econometrica*. Vol. 63 (6).
- Samuelson L., Zhang J.** (1992): Evolutionary Stability in Asymmetric Games // *Journal of Econ. Theory*. Vol. 57.
- Schaffer M.** (1988): Evolutionary Stable Strategies for a Finite Population and a Variable Contest Size // *Journal of Theoretical Biology*. № 132. P. 469–478.
- Schaffer M.** (1989): Are Profit-Maximizers the Best Survivors? // *Journal of Economic Behavior and Organization*. № 12. P. 29–45.
- Schuster P., Sigmund K.** (1983): Replicator Dynamics // *Journal of Theoretical Biology*. № 100.
- Schuster P., Sigmund K., Hofbauer J., Wolf R.** (1981): Self-Regulation of Behaviour in Animal Societies // *Biological Cybernetics*. № 40. P. 1–25.
- Selten R.** (1980): A Note on Evolutionary Stable Strategies in Asymmetric Animal Conflicts. // *Journal of Theoretical Biology*. № 84. P. 93–101.
- Shamma J.S., Arslan G.** (2003): Dynamic Fictitious Play, Dynamic Gradient Play, and Distributed Convergence to Nash Equilibria. Proceedings of 42nd IEEE Conference on Decision and Control.
- Taylor P.D., Jonker L.B.** (1978): Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics // *Math. Bioscience*. Vol. 40. P. 145–156.
- Vasin A.A.** (1999): On Stability of Mixed Equilibria // *Nonlinear Analysis*. Vol. 38. P. 793–802.
- Vasin A.A.** (2005): Human Reproduction and Utility Functions: an Evolutionary Approach // *Psychology, Rationality and Economic Behaviour*. Palgrave Macmillan. Vol. 142. P. 106–124.
- Vega-Redondo F.** (1997): The Evolution of Walrasian Behavior // *Econometrica*. Vol. 65(2). P. 375–384.
- Weibull J.** (1995): Evolutionary Game Theory. Cambridge: MIT Press.
- Wilson E.O.** (1975): Sociobiology: The New Synthesis. Cambridge: Belknap Press.
- World Population Prospects (1996): World Population Prospects. The 1996 Revision. Annex II & III: Demographic Indicators by Major Area Region and Country. N.Y.: United Nations Population Division press. P. 352–353.

Поступила в редакцию 01 ноября 2009 г.

A.A. Vasin

Lomonosov Moscow State University

Evolutionary Game Theory and Economics. Part 2. Stability of Equilibria. Special Features of Human Behavior Evolution

The paper discusses convergence of evolutionary dynamics to mixed equilibria including different behavior strategies. Models of cooperative and altruistic behavior spreading are considered. The paper reveals special features of human behavior evolution in comparison with behavior in biological populations.

Keywords: *mixed equilibrium, convergence, cooperation, altruism.*

JEL classification: C73.