СОЦИОЛОГИЯ

УДК 314.182, 312 Н 311

М.П. Кащенко[1,2], Н.М. Кащенко[3]

[1]Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург
[2]Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
[3]Уральская компьютерная школа имени академика Н.Н. Красовского, г. Екатеринбург

СФЕРЫ ОБЩЕНИЯ И СКОРОСТЬ РОСТА НАСЕЛЕНИЯ


Ключевые слова: *население Земли, демографический переход, экспоненциальный и гиперболический рост, сферы общения, скорость роста населения, ресурсные ограничения.*

Устанавливается связь между скоростью воспроизводства потомства (на основе биологического закона полового размножения) и скоростью относительного увеличения популяции Земли. Роль важных промежуточных звеньев выполняют сферы общения, являющиеся сравнительно небольшими группами людей. Именно взаимодействие партнеров внутри таких сфер является существенным. Показано, что у «демографического императива» (противопоставляющего внутренние причины торможения роста населения и внешние ресурсные ограничения) нет серьезных аргументов.

M.P. Kashchenko, N.M. Kashchenko

SPHERES OF COMMUNICATION AND SPEED OF POPULATION GROWTH

Key words: *population of the Earth, demographic transition, exponential and hyperbolic growth, spheres of communication, population growth rate, resource constraints.*

The relationship between the reproduction rate of offspring (based on the biological law of sexual reproduction) and the rate of relative increase in the population of the Earth is established. The role of the important intermediate links are performed by spheres of communication which are relatively small groups of people. It is the interaction of partners within such spheres that is essential. It is shown that the "demographic imperative" (that opposes internal causes of population growth inhibition and external resource constraints) has not serious arguments.

Кащенко Михаил Петрович - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург). Тел.: 8(343)262-97-81; e-mail: mpk46@mail.ru.

Kashchenko Mikhail Petrovich - doctor of physical and mathematical sciences, Professor, Head of the Department of physics of the Ural State Forest Engineering University (Ekaterinburg). Phone: 8(343)262-97-81; e-mail: mpk46@mail.ru.

Кащенко Надежда Михайловна – учащаяся Уральской компьютерной школы имени академика Н.Н. Красовского (Екатеринбург). Тел.: 8(343)262-97-81; e-mail: mpk46@mail.ru.

Kashchenko Nadezhda Mikhailovna – schoolgirl of the Ural Computer School named after academician N.N. Krasovsky (Ekaterinburg). Phone: 8(343)262-97-81; e-mail: mpk46@mail.ru.

Введение

Высокая скорость роста населения Земли в течение последнего столетия привела к появлению широкого спектра проблем. Уже достигнутая численность населения превратилась в важнейшую проблему социальной экологии, поскольку ресурсное обеспечение достойного существования многомиллиардного населения угрожает существованию биосферы (Медоуз и др., 2007). Уместно будет напомнить, что первым в отчетливой форме проблему возможного быстрого роста населения Земли обозначил Т. Мальтус (Malthus, 1798; Мальтус, 1895). Он же постарался установить математическую закономерность роста, что является совершенно необходимым для прогнозирования численности населения. Мальтус естественно отталкивался от данных статистики роста населения (на примере Америки), отметив его удвоение через каждые 25 лет, то есть геометрическую прогрессию роста. Нетрудно убедиться, что за ростом по такому закону стоит экспоненциальная зависимость от времени

$$N(t) = N(0)\exp(\lambda t)\,, \quad \lambda>0\,. \tag{1}$$

Смысл $\lambda=1/\tau$, где τ – постоянная времени, при $t = \tau$ население возрастает в e раз ($e \approx 2{,}718$). Измеряя t и τ в годах (естественный масштаб времени), легко найти, например, что условию удвоения N через каждые 25 лет соответствует $\tau = =25/\ln 2 \approx 34.657 \approx$ 35 лет.

Очевидно, что дифференциальная форма закона экспоненциального роста (1) имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N\,. \tag{2}$$

Закон (2) естественно увязывается с известными в биологии способами бесполого размножения, ведущими к росту численности популяции (Ризниченко, Рубин, 1993). Согласно (2), скорость роста пропорциональна имеющемуся числу особей N. Такая пропорциональность вполне разумна, если считать, что каждая особь может размножаться (например, почкованием) независимо от остальных. Следовательно, закон (2) и его интегральный аналог (1) не очевидным образом имманентны человеческому обществу, рост численности которого базируется (пока) на половом способе размножения. Говоря «пока» авторы имеют в виду, что, по мере перехода к суррогатному материнству и «пробирочным» технологиям, включая клонирование, основания для использования закона (2) могут стать тривиальными (хотелось бы надеяться, что этого не произойдет).

При половом способе размножения в качестве дифференциального закона для скорости роста представляется логичным использовать

$$\frac{dN}{dt} = \delta N^2\,. \tag{3}$$

Действительно, увеличение населения есть следствие взаимодействия двух примерно равных по численности коллективов мужского и женского пола, и, следовательно, скорость роста должна быть пропорциональна произведению их численностей. В биологии, например, для локализованных ареалов популяции этот вариант подтверждается и связывается с частотой встреч партнеров (Ризниченко, Рубин, 1993).

Очевидно, что при феноменологическом макроописании скорости роста населения Земли можно использовать закон (3), ожидая, что благодаря биологической первооснове он в лучшей степени отразит природу процесса по сравнению с линейным законом (1). Приняв форму (3), несложно установить значение δ из сравнения с данными статистики. Возникает, однако, вопрос, в какой мере форма записи (3) отражает участие в процессе человечества как целого? В серии работ С.П. Капицы, подытоженной в обзоре (Капица, 2010), утверждается, что форме (3) в полной мере соответствует состояние человеческого общества в условиях универсального коллективного взаимодействия, приводящего к рассмотрению «всего населения нашей планеты как самостоятельного и целостного объекта». В соответствии с этим представлением формулируются 4 тезиса (Капица, 2010):

«1. Все население Земли рассматривается как единая, сильно связанная развивающаяся система.

2. Скорость роста пропорциональна квадрату населения мира. Она обязана универсальному взаимодействию, которое, являясь внутренним процессом, не зависит от внешних ресурсов.

3. Взаимодействие основано на умножении и распространении информации различного рода.

4. Когерентной и самодостаточной популяцией является группа с стью ~ 60000».

Заметим, что биологическая природа закона (3) в рассмотрении С.П. Капицы не упоминается и, разумеется, попыток его распространения с «микроуровня», отвечающего активности одной пары партнеров, на макроуровень (человечество как целое) не предпринимается. Именно это и является, по мнению авторов, основной причиной некритического подхода к использованию (3) и, как следствие, к избыточной категоричности всех четырех положений, приведенных выше.

Цель данной работы - показать, что при использовании формы (3) наблюдаемым значениям параметра δ соответствует представление о решающем вкладе в механизм роста большого числа относительно малых групп населения (слабо взаимодействующих между собой) с некоторой численностью N_S, характеризующей сферу общения.

Алгоритм оценки параметра δ

Отметим для начала, что эффективное половое партнерство в подавляющем большинстве случаев осуществляется в географически локализованных областях, существенно меньших по сравнению с размерами континентов и стран. Но даже внутри городов (крупных, средних и мелких) выбор партнера, как правило, происходит среди достаточно ограниченного количества людей, с которыми возможно установление доверительных отношений, вследствие устойчивого общения в социальной среде (учеба, работа, клубы по интересам). Расширение контактов в среде Интернет в силу ограниченности свободного времени принципиально (на несколько порядков) численность круга подобного общения не изменяет. Поэтому весьма сомнительным выглядело бы, например, утверждение, что статистика браков в Екатеринбурге обусловлена коллективным взаимодействием жителей города с народами Африки, Латинской Америки, Австралии, Китая и т д. Менее удивительным было бы высказывание о некоем взаимодействии между жителями районов одного и того же города. Следовательно, тезис 1

(Капица, 2010) нельзя принимать в качестве не требующей доказательства (в силу явной или хотя бы кажущейся очевидности) аксиомы, по крайней мере, по отношению к вопросу о скорости роста населения.

В качестве альтернативы обсудим далее диаметрально противоположное утверждение: решающую роль в формировании пар потенциальных половых партнеров играет достаточно узкая сфера общения (СО), а фундаментальной характеристикой для скорости роста населения является эффективный (усредненный) вклад в воспроизводство населения одной пары. Покажем, как, исходя из этих представлений, можно получить оценку относительной скорости роста населения $\frac{1}{N}\frac{dN}{dt}$, соответствующую наблюдаемой величине.

Обозначим N_{mi} и N_{wi} как численности представителей мужского и женского пола в любой СО с номером i (i=1, 2, 3…., n); тогда

$$N_i = N_{mi} + N_{wi}, \qquad N_{mi} \approx N_{wi} \approx \frac{N_i}{2} , \tag{4}$$

$$\frac{dN_{wi}}{dt} = \delta_{wmi} N_{wi} N_{mi}, \qquad \frac{dN_{mi}}{dt} = \delta_{mw,i} N_{wi} N_{mi} , \quad \delta_{mw,i} = \delta_{wm,i} = \delta_{0i} , \tag{5}$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{dN_{mi}}{dt} + \frac{dN_{wi}}{dt} = +2\, \delta_{0i} N_{mi} N_{wi} \approx \frac{1}{2} \delta_{0i} N_i^2 . \tag{6}$$

Значит, применительно к i–ой СО форма записи (3) имеет вид:

$$\frac{dN_i}{dt} = \delta_i {N_i}^2 . \tag{7}$$

Сравнение (6) и (7) дает

$$\delta_i \approx \frac{1}{2} \delta_{0i} . \tag{8}$$

Покажем теперь, как, используя форму записи (3), осуществить переход от «микроскопического» описания (на уровне одной пары партнеров) к макроскопическому описанию для населения Земли через промежуточный уровень СО.

При переходе от уровня СО к полному населению Земли будем, для простоты, считать, что численности N_i для всех СО одинаковы и равны N_S, как равны и значения $\delta_i = \delta_S = 0.5\delta_0$. Тогда полное количество групп СО

$$n_S = N / N_S . \tag{9}$$

Суммирование левых и правых частей равенств (7) от 1 до n_S приводит к соотношению

$$\frac{dN}{dt} = \delta_S\, n_S\, {N_S}^2 . \tag{10}$$

Важно подчеркнуть, что переход от формы уравнения (10) к форме записи (3) означает явное включение в структуру параметра δ числа n_S, а именно:

$$\frac{dN}{dt} = \delta N^2, \qquad \delta = \frac{\delta_S}{n_S} . \tag{11}$$

Поскольку n_S - ожидаемо большое число, параметр $\delta \ll \delta_S$, и такое скачкообразное понижение является очевидной платой за формальное введение в правую часть (11) квадрата полного населения Земли. Это обстоятельство проясняет причину иллюзорного представления (Капица, 2010) о роли населения Земли как целого в законе (11).

Установим теперь связь величины δ_S с численностью N_S и фундаментальным параметром δ_0. Обозначим символом P_{ef} эффективное число гетерополых (mw) пар P_{ef} как ту составляющую от полного числа P (mw) ранжированных по возрасту пар (включая стариков и детей) $P \approx N_S/2$, партнеры которой намерены завести детей. Обозначим долю таких пар как $p = P_{ef}/P$. Ориентировочно для качественных (по порядку величины) оценок будем далее полагать, что доля P_{ef} в общем числе пар P составляет 20%, и, следовательно, $p = 0.1$, $P_{ef} = 0.1N_S$.

Считая, что n_S изменяется сравнительно медленно, свяжем рост N, в основном, с ростом N_S. Скорость изменения величины N_S, с одной стороны, связана, согласно (7), с формой записи (3)

$$\frac{dN_S}{dt} = \delta_S {N_S}^2, \qquad (12)$$

а с другой стороны, с числом эффективных пар в составе СО. В предельном случае одной пары использование формы записи (3) означает, что

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{1}{2}\delta_0 {N_1}^2, \qquad (13)$$

где $N_1 = 2$, или с учетом (8)

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{1}{2}\delta_0 4 = 2\delta_0 . \qquad (14)$$

Оценим величину δ_0 , считая, что пара разнополых партнеров в течение репродуктивного периода Δt_1 (например, Δt_1 = 30 лет) своей жизни t_ℓ производит в среднем m (например, m = 3 для расширенного воспроизводства) детей, тогда в предельном случае одной пары получим

$$\Delta N = 3 = 2\delta_0 \Delta t_1, \qquad (15)$$

$$\delta_0 = \frac{m}{2\Delta t_1} = \frac{3}{60} = 0.05 \text{ (1/год)}. \qquad (16)$$

Следовательно

$$\frac{dN_S}{dt} = P_{ef}\frac{dN_1}{dt} = 2\delta_0\, P_{ef} \approx 2\delta_0\, p\, N_S\,, \qquad \frac{1}{N_S}\frac{dN_S}{dt} = 2\delta_0\, p. \qquad (17)$$

Из (17) очевидно, что при p = 0,1 относительная скорость роста равна

$$\frac{1}{N_S}\frac{dN_S}{dt} \approx 0.2\delta_0 \approx 10^{-2} , \qquad (18)$$

то есть составляет 1 %.

Именно близкие к 1% относительные скорости роста и наблюдаются. Так и должно быть, поскольку мы считаем $N = n_S N_S$, и при фиксированном (либо медленном изменении) чисел n_S

$$\frac{dN}{dt} \approx n_S\frac{dN_S}{dt}, \quad \frac{1}{N}\frac{dN}{dt} \approx \frac{1}{N_S}\frac{dN_S}{dt} . \qquad (19)$$

Отсюда следует, что проведенные оценки отвечают реальному положению дел. Заметим, при использовании формы записи (12), что на уровне СО соответствует записи (3), из сравнения (12) с (17) следует

$$\delta_S = \frac{2\delta_0\, p}{N_S} . \qquad (20)$$

Тогда из (11) находим соотношение

$$\delta = \frac{\delta_S}{n_S} = \frac{2\delta_0\, p}{N_S n_S}, \tag{21}$$

раскрывающее приближенно мультипликативную структуру параметра δ.

Обсуждение результатов

Поскольку $N_S n_S = N$, соотношение (21) показывает, что в модели неперекрывающихся СО с фиксированным числом n_S таких сфер мы имеем право перейти от закона (3) к закону экспоненциального роста, полагая в (2) величину

$$\lambda = 2\delta_0\, p. \tag{22}$$

Таким образом, осуществленный вывод устанавливает структуру феноменологической константы δ макроскопического роста, связав ее с фундаментальным параметром δ_0, природа которого имеет биологический характер, обусловленный законом полового размножения, но конкретное значение несомненно диктуется и социальными факторами. Кроме того, из рассмотрения данной модели (при $n_S = const$), следует: рост населения происходит за счет увеличения численности N_S сферы общения, что является вполне естественным. Столь же естественно и влияние доли эффективных пар p в N_S. Именно произведение этих параметров и играет главную роль.

Говоря о конкретных значениях фактора N_S, отметим, что в изложенной модели, на первый взгляд, формальным ограничением сверху является предел $N_S \to N,\ n_S \to 1$, соответствующий населению планеты как целому. Однако имеется и дополнительная, заслуживающая внимания, возможность. Рассматривая скорость роста, поставим вопрос, какое минимальное значение этой скорости приемлемо для поддержания и медленного роста одной сферы общения в условиях, когда человечество еще не имело мегаполисных субстратов? Ясно, что прирост менее одного человека в год, обсуждать не имеет смысла, а необходимость компенсации потерь за счет естественной убыли, болезней и несчастных случаев позволяет остановиться на приемлемой цифре прироста 10 человек в год. Тогда с помощью (2) или (3), при учете (22), для $2\delta_0\, p = 10^{-2}$ находим оценку для $N_S=10^3$, которую можно принять в качестве минимальной численности уединенного сообщества, способного к самоподдерживающемуся существованию.

Однако, на этот же размер можно взглянуть и как на максимальный размер СО, еще совместимый с личными контактами внутри одной СО. Следовательно, в реальности маловероятно, что величина N_S превысит 10^3 при достижении N и десятимиллиардного рубежа, когда речь идет не об уединенных географически СО. В качестве же минимального значения для N_S при p = 0,1 разумно принять N_{Smin} = 10. Тогда, в модели с фиксированным значением n_S, для величины n_S получаем оценку $n_S \approx 10^{10}/10^3 \approx 10^7$. Следовательно, минимальной величине N_{Smin} = 10 отвечает население $N \approx 10^8$. Это означает, что при дальнейшем снижении N в рамках принятой модели возможен сценарий сохранения N_{Smin} = 10 при уменьшении числа n_S. Причем, в первую очередь начнут исчезать сравнительно мелкие изолированные страты населения (с численностью, меньшей 10^3).

Разумеется, наше рассмотрение носит намеренно упрощенный характер, подчеркивающий, что между законами (2) и (3) нет неопредолимого барьера. Совершенно ясно, что применительно к географически локализованным мегаполисам модель неперекрывающихся сфер носит чересчур огрубленный характер, так как перекрытие сфер общения неизбежно, именно степень перекрытия и отражает возникающие корреляции внутри сообщества, условно разбиваемого на равные по численности ячейки – СО, что до некоторой степени (но отнюдь не полностью) оправдывает утверждения, содержащиеся в работе С.П. Капицы (2010).

Иными словами, истине соответствует некоторая промежуточная картина, к которой можно двигаться, либо развивая представления о взаимодействии СО с учетом географических, этнических, религиозных и других особенностей с последующим статистическим усреднением для перехода к макроскопической динамике населения Земли, либо выбирая некоторые базовые модели роста, например, (2) и (3), и калибруя значения параметров моделей из сравнения с наблюдаемыми закономерностями. На наш взгляд, *параметр δ_0 синтетическим образом отражает (посредством времени Δt_1) восприятие парой партнеров самой разнообразной информации, существенной для принятия решения о численности потомства, позволяющей установить некий баланс между желанием оставить потомство и возможностью его достойного существования, обусловленной ресурсными ограничениями (как внешнего, так и внутреннего характера).* По этой причине никакого антогонистического противоречия между популяционным принципом Мальтуса и демографическим императивом С.П. Капицы (2010) (об исключительно внутренних причинах роста населения) не существует.

Несмотря на практическую очевидность факторов δ_0 и p, проведенный анализ полезен, так как указывает на излишнюю категоричность тезисов С.П. Капицы (2010), что позволяет с большой уверенностью утверждать о правомерности использования подхода, учитывающего влияние ресурсных ограничений на рост населения Земли. Переход же от закона (3) к (2) сразу можно было выполнить формальной заменой $\delta = \lambda/N$. Однако, если бы за записью (3) действительно стоял феномен человечества как целого, то величина δ принципиально не сводилась бы к величине, обратной N.

Такое сведение получается искусственно путем введения поправочного множителя для перехода от суммы квадратов чисел к квадрату суммы чисел, чтобы сохранить форму записи (3) и при макроописании. Сам же демографический переход, выражающийся в прохождении скорости роста через максимум, в условиях учета ресурсных ограничений никаких особенностей не имеет и может описываться как в рамках «затравочного» закона (3), так и в рамках закона (2).

Вопрос об особенностях роста требует пояснения. Дело в том, что при условии неограниченного роста дифференциальный закон (2) ведет к экспоненциальному нарастанию $N \to \infty$ в асимптотическом пределе бесконечного времени, тогда как закон (3) ведет к бесконечному нарастанию N за конечное время. Это обстоятельство и породило уверенность (а точнее, веру, но далеко не у всех исследователей) в то, что наблюдавшийся в течение столетия быстрый рост населения планеты в основе своей ассоциируется с законом (3), приводящем к сингулярности гиперболического типа. Ясно, однако, что при соотношении $\delta \sim \lambda/N$ вопрос о росте в «режиме обострения», ведущем к сингулярности за конечное время, снимается с повестки дня. Собственно, сравнение с данными наблюдения о динамике численности позволит, после калибровки параметров сравниваемых моделей, судить о степени взаимодействия перекрывающихся СО по отличию отношения параметров δ и λ от $1/N$.

Представляется весьма интересным также выявление корреляций динамики численности населения со значимыми технологическими и социальными вехами в истории человечества, связанными: с производством продуктов питания; успехами медицины; изменением степени социальной защищенности людей. Совершенно ясно, что указанные факторы должны сказываться (и сказываются) на значениях параметров δ_0 и p, как и на изменениях продолжительности жизни и скорости естественной убыли населения (которая в явном виде нами, как и С.П. Капицей, не учитывалась). Поэтому использование фиксированных значений параметров для описания сразу нескольких исторических эпох вряд ли оправданно. По мнению авторов, и сам предшествующий период быстрого роста N был в значительной степени связан с возрастанием показателя экспоненты за счет сочетания факторов, благоприятствующих росту населения.

Заключение

Выполненный в работе анализ показал, что возможно построение модели роста населения Земли, базирующейся на закономерности, естественной для полового варианта размножения. Более того, переход на уровень макроописания демонстрирует, что между двумя «затравочными» зависимостями скоростей роста от численности населения N в простейшем приближении неперекрывающихся сфер общения можно установить редуцирующее соотношение. Проясняется и природа информационного фактора, отражающегося на принятии решения о производстве потомства *wm*-парами.

Данную работу можно рассматривать как отклик на обращение С.П. Капицы (2010) к научному сообществу с целью привлечь внимание к интереснейшей междисциплинарной тематике исследований. К сожалению, принести личную благодарность за обращение внимания авторов на проблему демографического перехода уже невозможно, поэтому авторы посвящают работу светлой памяти С.П. Капицы.

Нельзя не упомянуть и усилий С.П. Капицы, направленных на реконструкцию исторического прошлого динамики роста населения Земли. Впрочем, нынешнее состояние перенаселенности планеты актуализирует точность прогноза его будущей максимальной численности, опираясь на анализ современных данных. Этот вопрос в рамках двухпараметрических моделей, учитывающих, в том числе, и ресурсные ограничения, будет рассмотрен в отдельной работе.

Список использованной литературы

Капица С.П. К теории роста населения Земли // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. № 12. С. 1337-1346.

Мальтус Т.Р. Опыт о законе народонаселения / Библиотека экономистов. Вып. 3 / Перевод И.А. Вернера. М.: Изд-во К.Т. Солдатенкова, 1895. 249 с. (http://demoscope.ru/weekly/knigi/maltus/maltus.pdf).

Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Пер. с англ. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 342 с. (file:///C:/Users/F330~1/AppData/Local/Temp/Rar$DIa0.470/Medouz_Predelyi_rosta._30_let_spustya_d3f347_327864.fb2).

Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические модели биологических продукционных процессов. М.: Изд. МГУ, 1993. 301 с.

Malthus Th. An essay of the principle of population. London: J. Johnson, 1798. 125 p.

Рецензент статьи: доктор физ.- мат наук, профессор кафедры физики УГЛТУ, профессор кафедры высшей математики Института фундаментального образования УрФУ Чащина Вера Геннадиевна.