

*Памяти Виталия Лазаревича Гинзбурга*

ФИЗИКА В СМЕЖНЫХ НАУКАХ

## К теории роста населения Земли

С.П. Капица

*Человечество переживает эпоху глобальной демографической революции. Время, когда после взрывного роста населения мира круто меняет характер своего развития и внезапно переходит к ограниченному воспроизведству. Это величайшее по значимости событие в истории человечества с момента его появления в первую очередь проявляется в динамике народонаселения. Однако оно затрагивает все стороны жизни миллиардов людей, и именно поэтому демографические процессы стали важнейшей глобальной проблемой мира и России. От их фундаментального понимания зависит не только настоящее, но и после текущей критической эпохи перемен, предвидимое будущее, приоритеты и неравномерность развития, устойчивость роста и глобальная безопасность. Количественное описание процессов истории даёт феноменологическая теория роста человечества, опирающаяся на понятия и методы физики, а её выводы должны быть сопоставлены с представлениями экономики и генетики.*

PACS numbers: 01.75.+m, 89.65.Cd

DOI: 10.3367/UFNr.0180.201012f.1337

### Содержание

1. Введение (1337).
  2. Рост населения Земли с древнейших времён до предвидимого будущего (1337).
  3. Глобальный демографический переход (1339).
  4. Глобальное взаимодействие в демографической системе (1341).
  5. Предвидимое будущее (1342).
  6. Заключение (1344).
- Список литературы (1345).

### 1. Введение

Основная цель настоящего очерка состоит в том, чтобы объяснить, почему теория роста человечества, опубликованная ранее [1–4], оказалась такой результативной. В значительной мере этот вывод основан на том, что всё население Земли за все времена рассматривается как **единая система**. Однако многим ближе и понятнее региональный подход и социально-экономический анализ, чем феноменологические теории физика и более отвлечённые модели математика. К сожалению, развитый ниже подход с трудом воспринимается традиционными демографами, в то время как целостность демографической системы человечества неоспорима.

**С.П. Капица.** Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН,  
Нахимовский просп. 32, 117218 Москва, Российская Федерация  
Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН,  
Воробьевское шоссе 2, 117334 Москва, Российская Федерация  
Тел. (499) 137-65-77. Факс (499) 938-20-30  
E-mail: sergey.kapitza@gmail.com

Статья поступила 13 сентября 2010 г.

Но именно демография, которая оперирует числами как универсальной характеристикой населения, представляет основу для количественного исследования его роста и развития методами физики и математики. В то же время для физика эта задача представляет интерес как одна из значимых проблем науки. Поэтому автор обращается как к физикам, так и к историкам, демографам и экономистам в поисках взаимопонимания и сотрудничества в этой новой области междисциплинарных исследований. Этот социальный заказ связан с критическим состоянием мирового сообщества в эпоху демографической революции, требующей нового понимания всей истории человечества. Недаром все крупные историки, как Бродель [13], Ясперс, Валлерстайн, Конрад и Дьяконов утверждали, что есть только **метаистория — история всего человечества**, которая и является фундаментальной проблемой в науках об обществе. Эта постановка задачи побудила автора к развитию опыта количественной теории роста человечества, охватывающей всё время существования человека, начиная с эпохи антропогенеза.

### 2. Рост населения Земли с древнейших времён до предвидимого будущего

Для описания роста населения обычно обращаются к моделям, показывающим как от времени зависит население. Простейшим представляется линейный рост, в котором население растёт пропорционально времени (на рис. 1а). При этом учитываются начальные условия для времени и самого населения, которые для наглядности положены равными нулю. Следующим показан рост по экспоненте — закону сложных процентов, когда в случае, представленном на рис. 1б, рост описывается экспоненциальной функцией с постоянной времени  $\tau$ . Соответственно, время удвоения равно  $\tau \ln 2 \approx 0,7\tau$  и скорость роста пропорциональна населению. Так же,

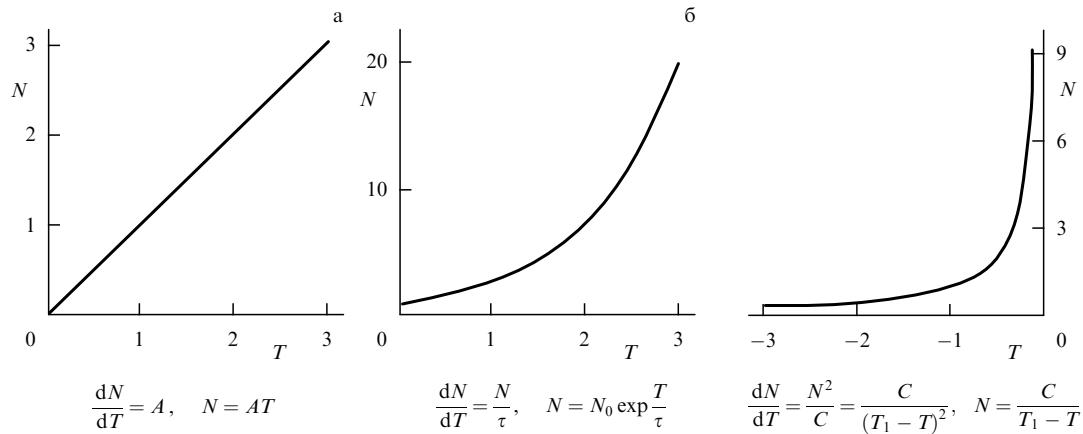


Рис. 1. Модели линейного (а), экспоненциального (б) и гиперболического (в) роста.

как и линейный рост, такой процесс аддитивен и в популяции в этих случаях размножение происходит независимо от других особей.

Для случая населения Земли основной интерес представляет рост, пропорциональный квадрату населения, представленный на рис. 1в. Это уже нелинейный закон роста, где по существу описывается рост коллектива людей, подразумевающий взаимосвязь — кооперацию — между членами группы. Очевидно, что этот закон роста применим только к популяции, рассматриваемой уже как целое. Самое важное, что этот закон роста обнаруживается, когда рассматривается рост всего населения нашей планеты, как самостоятельного и целостного объекта. Именно признание этого факта лежит в основе теории роста, которая последовательно рассматривается нами.

Таким образом, в основе интерпретации роста системы населения мира лежит представление об универсальном взаимодействии, которое следует из картины роста численности и возникающее в человечестве как единой популяции. Коллективное взаимодействие приводит к гиперболическому росту, при котором население стремится к бесконечности в конечный момент времени около 2000 г. Этот механизм служит для передачи самой разнообразной культурной и технологически значимой информации, определяя тем самым эволюцию системы в целом. Оно обязано сознанию, памяти и языку как факторам социальной наследственности, выраженным через общественное сознание и культуру, навыки и верования, а теперь и науку. Причём распространение информации происходит как горизонтально в пространстве, так и вертикально во времени. После начальной сингулярности линейный закон переходит в квадратичный закон роста [19]. Иными словами, в основе теории лежат четыре тезиса:

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 численностью  $\sim 60\,000$ .

Задача теории состоит не столько в том, чтобы описывать известные факты, сколько объединить воедино наши представления, исходя из взаимосвязи роста и развития. В моделях эти понятия существуют независимо и только в рамках последовательной нелинейной теории возможно достичь взаимозависимого и непротиворечивого описания целого. Поскольку эти положения не самоочевидны, они требуют не только своего обоснования как свойства физики развивающейся системы, но и объяснения этого в понятиях, доступных историку и демографу или экономисту.

В отличие от моделей, где суммируется вклад ряда факторов роста, в феноменологической теории мы обратимся к обобщённому описанию роста. Поясним эти вводные замечания, обратившись к данным по

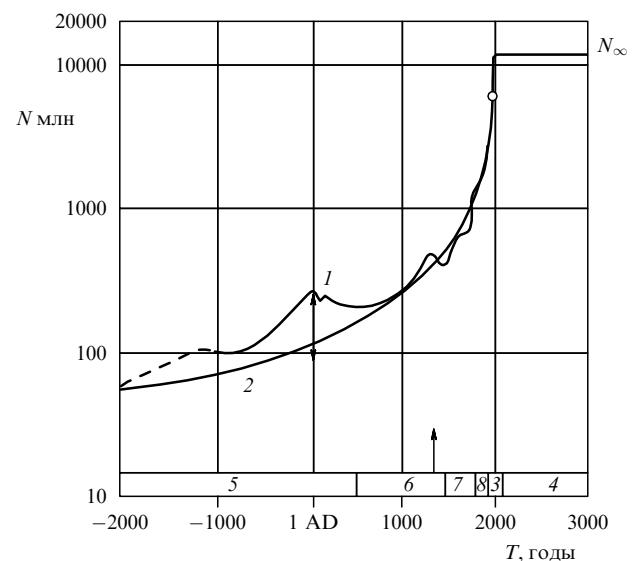


Рис. 2. Население мира от 2000 г. до Р.Х. и до 3000 г. 1 — население мира от -2000 г. до нашего времени (Н.В.), 2 — взрывной режим с обострением численности населения мира, 3 — демографический переход, 4 — стабилизация населения, 5 — древний мир, 6 — средние века, 7 — новая и 8 — новейшая история, ↑ — пандемия чумы 1348 г., ↓ — разброс данных, ○ —  $N_1 = 5.7 \times 10^9$  при  $T_1 = 1995$  г. Во временному масштабе графика время антропогенеза 5 млн лет тому назад находится в 100 метрах влево! Все остальные графики построены в более крупном масштабе, представляя "лупу времени", где видны детали процессов роста.

росту населения Земли за последние 4000 лет (рис. 2). На таком графике, где численность  $N$  отложена на логарифмической, а время — на линейной шкале, рост по экспоненте отображался бы прямой, чего нигде нет. В теории также нет нужды для параметров рождаемости и смерти, характеристик миграции и ресурсов: в этом также состоит существенное отличие в подходе моделей от феноменологической теории. Так мы непосредственно обращаемся к наблюдаемым значениям роста и тем величинам, характеризующим гиперболический рост человечества с момента появления исходной популяции человека, одаренного сознанием. Для описания роста системы и выделения автомодельных процессов мы обратимся к асимптотическим методам (см. [20]).

Как всякая теория, предложенное рассмотрение только приближенно описывает наш мир, а сами демографические данные разнородны и известны только приближенно. Тем не менее, поскольку население Земли с момента появления вида *Homo* увеличилось в сто тысяч раз, неточность данных не так сильно влияет на конечный усреднённый результат. В свою очередь гиперболический рост естественно представлять как логарифмы времени и населения мира и человечества в целом. В таблице 1 приведены данные для  $N$ , следуя последним сводкам демографии и антропологии [12], и результаты расчёта  $N_m$ , начиная с эпохи антропогенеза. Тогда, по современным представлениям, появился вид *Homo* и начался рост его численности.

На рост по гиперболе обращали внимание ряд авторов (Форстер, Хорнер, И.С. Шкловский [5]). Возможно, первым, как мне указал американский демограф Натан Кейфитц, был английский эпидемиолог Александр МакКендрек (1876–1943), предложивший гиперболический рост:

$$N = \frac{C}{T_1 - T} = \frac{200}{2025 - T} \times 10^9. \quad (1)$$

**Таблица 1.** Рост населения Земли (в миллионах)

Год	$N$	$N_m$	Год	$N$	$N_m$
$-4,4 \times 10^6$	(0)	$1 \times 10^{-6}$	1960	3039	3245
$-1,6 \times 10^6$	0,1	0,1	1965	3345	3497
-35000	1–5	2	1970	3707	3778
-15000	3–10	8	1975	4086	4089
-7000	10–15	16	1980	4454	4430
-2000	47	42	1985	4851	4801
0	100–230	86	1990	5277	5198
1000	275–345	173	<b>1995</b>	<b>5682</b>	<b>5613</b>
1500	440–540	345	2000	6073	6038
1650	465–550	492	2005	6453	6463
1750	735–805	685	2010	6832	6878
1800	835–907	851	2025	7896	7987
1850	1090–1110	1120	2050	9298	9259
1900	1608–1710	1625	2075	9879	9999
1920	1811	1970	2100	10400	10451
1930	2020	2196	2125	10700	10745
1940	2295	2474	2150	10800	10956
1950	2556	2817	2200	11000	11225
1955	2780	3019	2500	—	11364

Постоянная  $C = 162$  млрд год определяет население Земли за год до обращения  $N$  в бесконечность. Эта постоянная связана с длительностью года, а не с природой человека. Поэтому, как собственный масштаб времени и жизни человека, появляется характерное время  $\tau = 45$  годам, равное полуширине времени демографического перехода. Для последующих вычислений целесообразно вместо размерной постоянной  $C$  ввести константу  $K = 60000$  как большой параметр теории. Поскольку  $C = \tau K^2$ , т.е. равные по величине числа  $K$ , но разной размерности — одно с размерностью числа людей, а другое, безразмерное, выражающее отношение времен:

$$K = \sqrt{\frac{C}{\tau}} = 60000. \quad (2)$$

Именно  $K$  характеризует как само взаимодействие и поведение системы, так выражает и все конкретные результаты теории, характеризующие развитие человечества. Величиной  $\sim K$  определяется начальная численность популяции, обладающая после длительной эпохи антропогенеза, структурной и функциональной самодостаточностью. Этим определяется момент первого перехода, когда начальный линейный рост сменяется квадратичным. Числами  $K \sim 10^5$  определяется население мегаполисов, как университетский город или округ в мегаполисе. Например, Москва при населении  $\sim 10$  млн разбита на сто административных округов. Отметим, что малым народом считается популяция, численность которой меньше 50 тысяч. Изоляты, надолго отделённые от основной массы человечества, неизменно отстают в развитии.

Рост по гиперболе занимает полтора млн лет и от конца антропогенеза до наших дней охватывает пять порядков  $\sim 10^5$ . При скорости роста пропорционального  $N^2$  от конца каждого цикла до наших дней проходит время, приблизительно равное половине длительности цикла. Так, нижний палеолит длился миллион лет и кончился 500000 лет тому назад. Средние века длились тысячу лет и кончились 500 лет тому назад, когда исторический процесс происходил уже в тысячу раз быстрее. Такое ускорение развития происходило вплоть до нашего времени и завершается переходом, когда время перемен становится сравнимым со временем человека  $\tau$ .

### 3. Глобальный демографический переход

Демографический переход открыл французский демограф Адольф Ландри на примере Франции и справедливо назвал это явление революцией [10]. Более того, глобальная демографическая революция — это, несомненно, **самое существенное событие во всей истории человечества**. При ней круто, подобно сильной ударной волне, изменяется парадигма глобального развития от стремительного роста при демографическом взрыве, к грядущей стабилизации населения мира.

Демографический переход охватывает всё население нашей планеты и занимает меньше ста лет, несмотря на всю разницу в истории, укладе и экономике разных стран. Синхронность и сужение перехода чётко указывает на взаимодействие населения всех стран в **режиме с обострением**, когда при глобализации мы имеем дело с

поведением всей системы [7, 8]. Это нелинейный процесс, обвязанный расходимости роста из-за его ускорения по мере приближения к роковой дате сингулярности, приводит к тому, что гиперболический рост доминирует, а все остальные факторы, включая ресурсы, практически не влияют на ускоренный рост населения. Поэтому существен вывод, что рост подчинён  $N$  и потому явно не зависит от ресурсов. К моменту демографического перехода вблизи 1995 г. население мира, устремлённое в бесконечность демографического взрыва, внезапно прекращает рост и затем стабилизируется, асимптотически стремясь  $N_\infty - N \approx 1/T$  к постоянному пределу  $N_\infty = \pi K^2 = 11,4$  млрд (рис. 2).

На рисунке 2 видно, что демографический переход можно представить как **фазовый переход** и этот образ лучше помогает понять суть трансформации, которую нам суждено переживать, когда после взрывного роста население мира стремительно тормозится. Если до и после перехода рост асимптотически описывается гиперболой, то при переходе скорость роста следует регуляризовать, как расходимость от "малых знаменателей", путём введения времени  $t$ :

$$\frac{dN}{dT} = \frac{C}{(T_1 - T)^2 + \tau^2}, \quad (3)$$

ограничивающий рост вблизи перехода при  $T \rightarrow T_1$ . Интегрируя это выражение получим

$$N = \frac{C}{\tau} \cot^{-1} \left( \frac{T_1 - T}{\tau} \right) = K^2 \cot^{-1} t. \quad (4)$$

Таким образом, переход описывается функцией  $\cot^{-1} t$ , где время  $t = (T_1 - T)/\tau$  измеряется в единицах  $\tau = 45$  лет. В результате число людей на Земле равно  $N_1 = (\pi/2) K^2 = 5700$  млн в момент  $T_1 = 1995$  г., когда максимум скорости роста населения мира равен:

$$\left( \frac{dN}{dT} \right)_1 = \frac{K^2}{\tau} = 80 \text{ млн г}^{-1}. \quad (5)$$

Ср. с рис. 3, где прирост  $87$  млн  $\text{г}^{-1}$  и, по данным табл. 1:  $[N(2000) - N(1990)]/10 = 80$  млн  $\text{г}^{-1}$ .

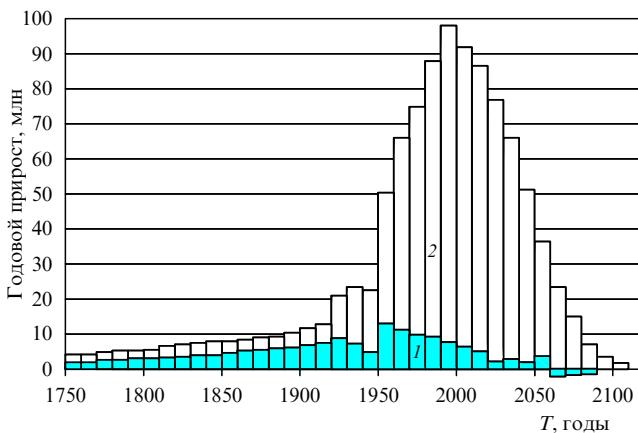


Рис. 3. Мировой демографический переход 1750–2100 гг. (данные ООН). Годовой прирост усреднён за декады. На рисунке видно уменьшение скорости роста при мировых войнах и демографическое эхо войны в конце XXI в. I — развитые страны и 2 — развивающиеся страны.

Соответственно, для "возраста" человечества получим оценку времени начала антропогенеза:

$$T_0 = \frac{\pi}{2} Kt = 4,2 \text{ млн лет тому назад} \quad (6)$$

вполне согласующейся с антропологией. Интегрируя рост населения от  $T_0$  до  $T_1$ , получим оценку

$$P_{0,1} = \frac{45}{20} K^2 \ln K = 96 \text{ млрд} \quad (7)$$

для полного числа людей, когда-либо живших. Множитель  $45/20$  появился в силу того, что в оценках других авторов характерное время для поколения принято равным 20-ти годам, приводящее к значению  $P_{0,1} = 106$  млрд [9]. Выражение для  $P_{0,1}$  (7) указывает, что всё развитие человечества можно описать как последовательность экспоненциально сокращающихся **цивилизационных циклов** по мере приближения к моменту перехода. В течение каждого цикла жило по  $\Delta P = 2,25K^2 = 8$  млрд человек, что стало динамическим инвариантом гиперболического роста.

Полученная таким образом хронология каменного века и последующей эпохи вполне удовлетворительно согласуется с данными истории и антропологии. Заметим, что эти эпохи выделены по культурным и технологическим маркерам, а не по изменениям численности населения, которое определяется развитием культуры. Неолит — переход от рассеяния к концентрации населения в сёла и города, сопровождается развитием сельского хозяйства и обменом между деревней и городами.

Начавшийся 10 тыс. лет тому назад неолит приходится точно посередине истории человечества, представленного в табл. 2 на логарифмической шкале времени, и принадлежит истории, а не каменному веку. В антропологии хронологию каменного века традиционно представляют на логарифмической шкале, как это и следует из теории, поскольку на линейной шкале трудно адекватно отобразить десять тысяч лет неолита и миллионы лет палеолита.

Для эпохи истории это не делалось, поскольку было не ясно, от какой даты отсчитывать давность прошлого. Теория же указывает, что условным нулём служит  $T_1 = 1995$  г. или округлённо 2000 г. Тогда давность, отсчитанная от рубежа веков, даёт относительную скорость мгновенного экспоненциального роста. Например, в 1900 г. человечество в среднем росло на 1% в год, а в начале нашей эры на 0,05% в год. Диапазон, охватываемый асимптотическим законом гиперболического роста, определяется большим параметром  $K$ , а его логарифм  $1 + \ln K = 12,00$  указывает на число циклов такого самоподобного процесса роста. В итоге, эта экспоненциальная периодизация приводит к последовательности фазовых переходов.

В истории существенно понятие длительности, которое возникает как мера внутренних темпов социального развития, не зависящая от внешнего хода времени [13]. Причём, если время непрерывно, а число людей дискретно, — то это конечное счётное множество ведёт к хаосу флуктуаций и короткопериодных процессов истории в малом, при детерминизме устойчивого развития в большом. По мере приближения к демографическому переходу внутренний масштаб времени становится порядка характерного собственного времени жизни

Таблица 2. Рост и развитие человечества в логарифмическом представлении

Эпоха	Период	Дата, годы	Число людей	Культурный цикл	$\Delta T$ лет	История, культура, технология	
C	$T_1$	2150	$10 \times 10^9$	Стабилизация населения Земли		Переход к пределу $11 \times 10^9$	
		2040	$9 \times 10^9$		125	Изменение возрастного распределения — старение	
		1995	$6 \times 10^9$		45	Глобализация Урбанизация	
B	11	1950	$3 \times 10^9$	Мировой демографический переход	45	Компьютеры. Интернет Ядерная энергия	
	10	1840	$1 \times 10^9$		110	Мировые войны Электрификация и радиосвязь	
	9	1500	$10^8$		340	Промышленная революция Книгопечать	
	8	500 н.э.			1000	Географические открытия Падение Рима, Мухаммад	
	7	2000 до н.э.			2500	Христос, "Осевое время". Греческая цивилизация Индия, Китай, Будда и Конфуций	
	6	9000	$10^7$		7000	Междуречье, Египет. Письменность, города, бронза Одомашнивание скота, сел./хоз.	
	5	29000			20000	Керамика, Микролиты	
	4	80000			51000	Заселение Америки Языки, шаманизм	
	3	0,22 млн	$10^6$		140000	<i>Homo sapiens</i> Речь, овладение огнём	
	2	0,60 млн			380000	Заселение Европы и Азии Рубила	
	1	1,6 млн			1000000	Галечная культура, чоппер <i>Homo habilis</i>	
A	$T_0$	4–5 млн	(1)	Антропогенез Появление гена HAR1 F	2800000	Начало социализации Развитие гоминид с большими возможностями мозга и сознания	

человека и не может больше сжиматься. Таким образом, в этой, существенно нелинейной, теории само внутреннее время длительности развития зависит от населения, как от параметра порядка.

Проблема времени в истории рассмотрена И.М. Савельевой и А.В. Полетаевым, которые в обзорной монографии [11] выделили Время-1 как внешнее, абсолютное время Ньютона и внутреннее, системное время длительности *longue durée* как Время-2, равное логарифму Времени-1. Понятия собственного времени роста и необратимость развития — появление "стрелы времени" в эволюции сложных систем рассмотрено И.Р. Пригожиным [6]. Такое понимание длительности развития подобно преобразованию времени в общей теории относительности, когда эволюция гравитирующей системы определяет течение времени. Если при эволюции Вселенной она расширяется от исходной сингулярности, то человечество, в результате самоорганизации, движется от исходной сингулярности путём взрывного автомодельного роста к синхронному и глобальному демографическому переходу.

#### 4. Глобальное взаимодействие в демографической системе

Основное дифференциальное уравнение автономно и связывает скорость роста с развитием

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{K^2}. \quad (8)$$

Иными словами, рост зависит от мгновенного значения  $N$  и пропорционален квадрату населения Земли  $N^2$  как мере сетевой сложности. **Нелинейная зависимость** роста от  $N$  исключает применение уравнения (8) к отдельно взятой стране, однако развитие каждой страны следует оценивать на фоне общего роста. Заметим, что в (8) не входит миграция, поскольку все население мира находится на Земле, перемещения по которой не меняют общего числа людей<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Интересно отметить, что при современной энерговооружённости человечества  $\sim 500 \times 10^{18}$  Дж в год, этой энергии, в принципе, достаточно, чтобы всех людей отправить в космос.

Следовательно, квадратичное взаимодействие, охватывающее население планеты в целом, в первом приближении **нелокально**. Для понимания природы этого нелинейного взаимодействия полезна аналогия с ван-дер-ваальсовым взаимодействием. В физике неидеального газа этот квадратичный закон связан не с конкретными взаимодействиями частиц, а проявляется как результат коллективного взаимодействия, пропорционального квадрату плотности газа.

Зависимость от мгновенного значения  $N$ , казалось бы, исключает память о прошлом. Но, как было указано, мы имеем дело с усреднёнными по времени величинами, когда время усреднения **вносит память о прошлом**, когда следует рассматривать  $N$  и  $T$  как их эффективные значения. Это означает, что усреднение происходит за время порядка давности и относительная неизменность усреднения выражается в автомодельности роста.

Наконец, существенный вывод состоит в том, что в этом рассмотрении не фигурируют ресурсы, будь то пространства, ископаемые ресурсы или ресурсы питания. Это нашло своё выражение в **принципе демографического императива**, когда развитие в целом обязано внутренним процессам в человечестве и в рамках развитой теории оно непосредственно не связано с ресурсами [14, 15]. Это парадоксальное утверждение, противоречащее как популяционному принципу Мальтуса, так и моделям о "пределах роста" Римского клуба и других групп, для которых ресурсы лимитируют развитие человечества. Независимость же роста населения от ресурсов обязана тому, что ресурсы только поддерживают рост, но не определяют его.

Например, в палеолите было достаточно ресурсов и много детей, однако рост был очень малым, поскольку определялся внутренним информационным фактором, пропорциональным квадрату населения мира — общим числом парных связей как мерой сетевой сложности, как полем взаимодействия. Поэтому причину роста следует искать в том, что именно внутренний механизм квадратичного роста всегда обеспечивал темпы, которые в **среднем определяют развитие**. Это автомодельное развитие **устойчивое в большем** происходит, несмотря на войны и эпидемии, недород и голод — пусть и трагиче-

ские, но это — местные эпизоды истории. Например, общие потери в течение I и II Мировых войн от 1914 г. до 1945 г. составили 250 млн или 8 % населения мира (рис. 4). Тем не менее после мировых войн численность населения вернулась на прежнюю, невозмущённую траекторию и так развивалось вплоть до начала демографической революции. В то же время население мира выросло почти в два раза — от 1,7 миллиарда до 3 миллиардов, а само наличие демографических циклов указывает на устойчивость глобального роста. После перехода рост демографической системы по критерию Ляпунова асимптотически устойчив. Если бы гиперболический рост, не ограниченный переходом, продолжался, как и прежде, то население Земли составило бы в 2010 г. 13 млрд — в два раза больше, чем 6,8 млрд в настоящее время, что даёт представление о масштабе рассматриваемого круга явлений и действующих сил.

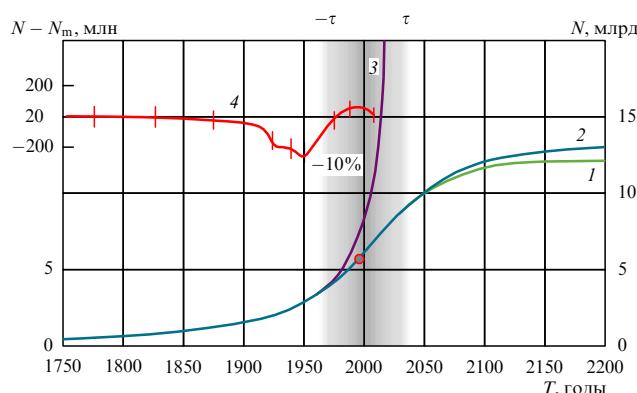
Однако обратимся к заре человечества полтора миллиона лет тому назад. Тогда начальная численность составляла  $\sim 10^5$ , т.е. по порядку величин была такой же, как у крупных животных — волков или обезьян — подобных человеку по питанию и размножению. Отдельные виды таких тварей занимают свою экологическую нишу в биосфере и медленно эволюционируют, находясь в динамическом равновесии с другими видами и окружающей средой. Но именно в ту эпоху в результате антропогенеза при развитии сознания появились язык, затем речь и общественное сознание, а человек, овладев огнём, начал умножаться и расселяться по всем удобным на Земле местам. Этот качественный скачок в эволюции сопровождался глубокими изменениями в организации мозга, привёл к росту человечества без конкуренции со стороны других видов.

Понимание того, что тогда произошло, представляет, быть может, основную проблему наук о человеке при оценке роли нового механизма наследственности, основанного на передаче информации через культуру и её носителей. Этим механизм **эпигенетической** социальной наследственности отличается от генетической наследственности, где её носители — гены. В том и другом механизме эволюции действует отбор, в частности структур в обществе, а разум и эпигенетическая социальная наследственность привели к взрыву числа людей на Земле.

## 5. Предвидимое будущее

Полученные результаты дают возможность обратиться к будущему развитию человечества, которое последует после окончания глобальной демографической революции. Она завершится к середине текущего столетия, когда население мира достигнет 10—11 млрд и рост по существу прекратится. На это указывают как теоретические расчёты, так и прогнозы демографии (рис. 4). В современном мире существенные изменения произойдут в характере занятости. Так, если в начале XX в. почти половина рабочей силы США было занято в сельском хозяйстве, то к концу столетия из-за колossalного роста производительности труда, эта доля уменьшилась до 1—2 % при том, что сельское хозяйство поддерживается государством, а половина продукции экспортируется.

Из-за роста производительности труда и экспорта технологий произошло сокращение численности работающих в области промышленного производства.



**Рис. 4.** Рост населения мира в течение демографической революции 1750–2200 гг. 1 — прогноз NASA, 2 — модель, 3 — взрывной уход на бесконечность (режим с обострением), 4 — разница между расчётом и населением мира, увеличенная в 5 раз, где видны суммарные потери при Мировых войнах XX века.  $\circ$  —  $T_1 = 1995$  г. и  $N_1 = 5,7$  млрд. Продолжительность глобального демографического перехода равна  $2\tau = 90$  лет.

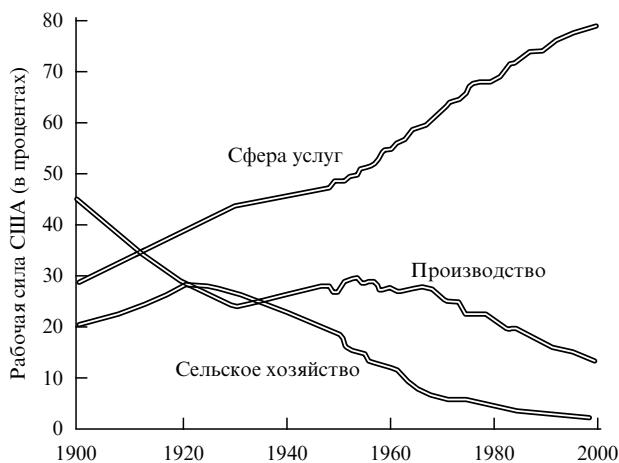


Рис. 5. Распределение рабочей силы США в XX веке по секторам экономики.

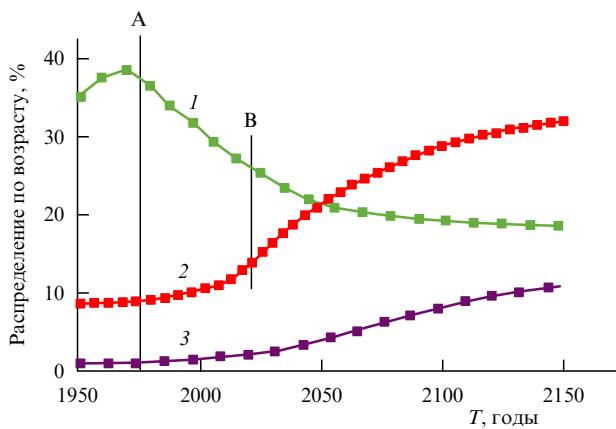


Рис. 6. Старение населения мира при демографической революции 1950–2150 гг. 1 — возрастная группа моложе 14 лет, 2 — старше 65 лет и 3 — старше 80 лет. (По данным ООН.)

Например, на изготовление одного автомобиля среднего класса идёт 10–20 рабочих часов. До 80 % рабочей силы в развитых странах теперь занято в "мягком" секторе экономики — в образовании и управлении, науке и инновации, здравоохранении и культуре, туризме и индустрии развлечений.

С другой стороны, в ближайшие полстолетия произойдет старение человечества, видное по распределению населения по возрастам. Эти данные также получены методами демографии, поскольку теория дает только усреднённые данные по полной численности населения мира и не оперирует с распределением когорт населения по возрастам. Указанные данные приводят нас к выводу, что в обозримом будущем изменится как занятость, так и возрастной состав населения (рис. 5 и 6). Эти два фактора должны привести к изменению возраста выхода на пенсию и к перераспределению возрастной занятости населения как следствие демографического перехода.

Развитая теория обращается к эффективным характеристикам демографической системы. Однако полнее её характеристики описываются распределениями. Гиперболическим распределением ранжируется население городов и сёл на Земле, что указывает на их принадлежность к одной мировой фрактальной системе [4]. Но в

экономике распределение доходов, которые описываются степенным законом Парето, обычно приводятся только для отдельных стран. Поэтому представляет интерес построить такое распределение, охватывающее всё население Земли, включая бомжей и клошаров, "олигархов" и миллиардеров. Таким образом, переход от эффективных величин к их распределениям приведёт к созданию статистической теории роста. Существенно то, что эти распределения — степенные, что указывает на то, что в демографической системе нет равновесия. По мере прохождения демографической революции неравновесие в экономике только возрастает как глобально, так и в отдельных странах, что ведёт к социальной напряжённости и явлениям, связанным с экономическим кризисом.

В некоторых случаях, благодаря вмешательству государства, этот источник неравенства удается уменьшить, однако в условиях стихии свободной рыночной экономики неравенство и хаос в обществе всё равно возрастают. После перехода процессы глобализации системы населения Земли будут продолжаться и, по-видимому, приведут к появлению в результате самоорганизации синхронных глобальных социально-экономических циклов с периодом  $\sim \tau$ .

Неоклассическая — валльсовская — экономика исходит из представления о равновесии в медленно эволюционирующей системе при обратимости экономических процессов. Термодинамика, которая стала архитипичной теорией для экономики, исходит из условий равновесия в системе. Однако эти представления о квазиравновесии в экономической системе противоречат выводам о росте неравновесности в развивающейся демографической системе народонаселения мира. Разрешение этого парадокса представляется существенной проблемой в экономофизике: как увязать постулаты о локальном равновесии в экономике с принципиально не равновесным развитием населения Земли как целого, где растёт не недостаток ресурсов, а неравномерность распределения результатов развития. Только в будущем, когда развивающиеся страны добьются увеличения производительности труда, может возникнуть вопрос и об ограничении развития ресурсами. С другой стороны, выводы теории роста следует сопоставить с современными представлениями о палеогенетике рода *Homo*.

В связи с независимостью роста от ресурсов следует обратить внимание на симптоматичное замечание американского историка Фрэнсиса Фукуямы: "Непонимание того, что основы экономического поведения лежат в области сознания и культуры приводит к тому распространённому заблуждению, при котором материальные причины приписываются тем явлениям в обществе, которые по своей природе в основном принадлежат области духа" [18]. Именно эти факторы, которые передаются информационным полем, определяют наше развитие.

Динамика перемен во время демографической революции, несомненно, порождает стресс. Это происходит как на уровне отдельного человека, когда распадаются связи, ведущие к образованию и стабильности семьи, так и в большем масштабе страны и общества. Одним из следствий этого стало резкое сокращение числа детей приходящееся на каждую женщину, отмеченное в развитых странах. Так, в Испании это число равно 1,20, в Германии 1,41, Японии 1,37, в России 1,3 и на Украине 1,09. В развитых странах женщины указали на 1,92, как желаемое число детей, тогда когда для поддержания

простого воспроизводства населения в среднем необходимо 2,15 детей на каждую женщину.

Таким образом, все самые богатые и экономически развитые страны, которые на 30–50 лет раньше прошли через демографический переход, пока оказались несостоительными в своей главной функции — воспроизведение населения. Этому способствует как то, что на получение образования уходит все больше времени, так и либеральная система ценностей, распад семьи, традиций и обычая в современном мире. Если эта тенденция сохранится, то основное население развитых стран обречено на вымирание и вытеснение эмигрантами из более фертильных этносов. Это самый сильный сигнал, который нам подаёт демография [21].

При разрешении этих парадоксов возникает проблема управления в современном постиндустриальном мире. В явлениях мелкого масштаба стихия рынка ещё работает при обратимых процессах обмена. При демографическом переходе отход от равновесия настолько увеличивается, что упорядоченное поведение системы распадается и разрушает как спонтанные процессы самоорганизации, так и организацию общества внешними силами. В турбулентное время демографической революции при перестройке социальных и экономических отношений не работает консервативная концепция "Business as usual". Таким образом, линейный причинно-следственный подход при управлении обществом для установления равновесия, требует времени, которого нет в силу самого темпа перехода. Поэтому управление и развитие теории в постиндустриальном мире потребует выхода за пределы постановки задач данного очерка.

В настоящее же время современные информационные технологии, в первую очередь Интернет и СМИ, революционизировали информационное пространство и поставили новые задачи перед системой образования и управления общества. Именно эта система частично реализует универсальное информационное взаимодействие между поколениями, введённое нами. Так, знания всё больше становятся массовым явлением, подобно грамоте, здоровью, духовной культуре, и даже кичу. Современные же СМИ, в первую очередь ТВ, стали мощным средством управления сознанием общества, а информация — самым эффективным оружием.

Если знания стали целью обучения, то в будущем решающим фактором станет **понимание**. Поэтому как в естественных, так и "неестественных" науках воспитание познания и инновации должно быть адресовано молодёжи и осуществляться молодыми учёными. В развитых странах система образования уже стала частью экономики, превышающей сектор производства и недооцени-

вать это не только недальновидно, но просто неверно в политике определения приоритетов развития. Причём фундаментальная наука — это высшая ступень понимания, — подобна рекордам в спорте. Мотивы познания, как и мотивы творчества художника, выражают саму природу разума человека. Затраты же на познание природы и человека на порядок меньше, чем на приложения полученных знаний, а в силу принципиальной трудности планирования неизвестного, находятся вне краткосрочных рыночных отношений. Но значение науки, прямое и опосредованное, на нашу жизнь неизменно больше, что выражено в нижних строчках рис. 7.

## 6. Заключение

Основной вывод, следующий из развитой теории, состоит в том, что разум лежит в основе роста человечества и развития человека. Эта мысль была ясно сформулирована в *Метафизике* ещё Аристотелем, который указал, что основное отличие человека от животных состоит в том, что: "*все люди от природы стремятся к знанию*". Именно коллективное взаимодействие, пропорциональное квадрату числа людей на Земле при достижении некоторого уровня организации мозга определяет эту способность разума человека к получению, распространению и умножению информации, относящейся к самым различным сторонам нашей деятельности.

С наступлением мировой демографической революции, критерием эволюции в обозримом будущем и целью развития станет не численный рост, а **качество жизни**. Качество жизни определяется социальной организацией, в первую очередь экономикой. При этом произойдет быстрое развитие так называемых развивающихся стран, как мы это видим на примерах Китая, Южной Кореи, Сингапура или Бразилии. Этот оптимистический сценарий дает надежду на преодоление того кризиса, который назревает, в первую очередь, из-за отставания понимания и ответственного управления обществом, когда руководствуются мыслью, что "сила есть — ума не надо".

Если пути развития общества в общих чертах известны [17], то в более далёкой перспективе истории перед человечеством встанет проблема **качества человека**. Человек издавна стремился, и не без успеха, управлять природой животных и растений. Если в начале это достигалось путём искусственного отбора, то теперь в распоряжении селекционера, которого следовало бы назвать генным инженером, появились мощные методы, рождённые современной молекулярной нанобиологией. Однако их применение к человеку происходит очень осмотрительно, когда даже генная диагностика уже наталкивается на сопротивление общества, не подготовленного к последствиям такого рода поиска. Очевидно, что этот круг вопросов гораздо сложнее, чем проблема качества жизни. Он неизбежно касается фундаментальных принципов природы личности и ценностей человека, смысла нашего бытия, и факторов, которыми это определяется. Но рано или поздно мы должны будем ответить на эти вызовы, поставленные прогрессом науки, свободной от оков устаревших идеологий. Общество, которое отстанет в этом соревновании, в будущем окажется перед лицом невосполнимых потерь.

Сегодня аналогом трудностей может служить дилемма с программным обеспечением современных компьютеров, для которых стоимость "железа" намного меньше

### НАУКА, ИННОВАЦИИ И ОБЩЕСТВО

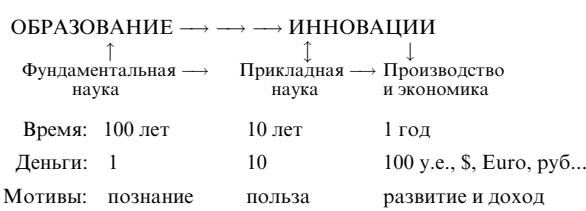


Рис. 7. Взаимодействие науки, образования и индустрии в современном мире, ↑ — информация.

затрат на "софт". Это несоответствие в современном открытом мире между могуществом производительных сил, прогрессом науки и производственными отношениями — общая проблема управления в глобальном мире, — представляется как существенное противоречие в предвидимом будущем. К этим вопросам относится всё, связанное с экологией, где частные подходы не дают решения проблем в целом. Оно видно в тупике "бессилия силы" оружия массового уничтожения, когда идея Клаузевитца, что "война есть продолжение политики иными средствами" больше не применима.

В заключение заметим, что глобальная проблематика имеет прямое отношение к России как стране с субглобальной географией, долгой историей, с полигетническим населением и многоукладной экономикой. Именно поэтому поиски решений при постановке таких междисциплинарных глобальных проблем потребуют участия учёных многих специальностей из стран с разным культурным наследием и интеллектуальными традициями и потому так существен опыт России в синтезе знаний. Поэтому закончим наш анализ замечанием о приоритетах современной науки, принадлежащим Президенту Королевского общества лорду Роберту Мей:

"Представляет интерес обсуждение того, разделяют ли жители других планет — если они существуют — прихоть нашей интеллектуальной истории — озабоченность судьбой Вселенной и строением атома, от которых существенно отстает интерес ко всему живому, с которым мы разделяем наше бытие.

Другой, но связанный с этим вопрос, состоит в том, что организации, принимающие судьбоносные решения, испытывают затруднения, когда им приходится обращаться к долговременным проблемам, решение которых в то же время затрагивает кратковременные групповые интересы. (Таковы проблемы изменения климата.) Эти вопросы не подпадают под разряд частных проблем, выделенных Медаваром, как разрешимые, однако они незримо связаны с будущим человечества и, тем самым с судьбой всего живого на Земле" [16].

Объективный процесс познания в естественных науках начался в эпоху Возрождения в астрономии, а затем и в физике. Задача о росте населения подобна механике Солнечной системы, которая стала прототипом исследований по небесной механике и стимулировала развитие математики. Можно ожидать, что эта же методология должна быть развита и должна найти своё место в науках об обществе, и потому существен опыт и знание глобальных проблем.

Для них не существует национальных и экономических границ, а их география объемлет весь земной шар, и их нельзя решать путём обобщения частностей. Так, вызывает удивление, что демографическая революция не упоминается как важнейшее событие в поучительном анализе демографического будущего мира на 2030 г., без чего трудно понять смысл локальных перемен в мире [22]. Таким образом редукция далеко не всегда применима при исследовании сложных систем и потому феноменология, основанная, тем не менее, на анализе фактических данных, оказывается результивной. Но наивная вера в математику и подражание физике также бесплодны, как бы не были мощны наши компьютеры и обширны базы данных. Именно в этом комплексе проблем, затрагивающих коренные интересы общества и состоит вызов науке.

Автор посвящает эту статью светлой памяти Виталия Лазаревича Гинзбурга. Ему я обязан помощью и поддержкой в этих исследованиях, понимания которых я не мог найти у других. Для меня всегда будет памятен доклад на знаменитом семинаре Виталия Лазаревича, который оказал такое влияние на развитие науки в нашей стране, а встречи с ним и влияние его идей стало решающим в судьбе этой работы.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Л.И. Абалкину, А.И. Агееву, А.А. Акаеву, К.В. Анохину, Г.И. Баренблатту, А.Г. Вишневскому, А.А. Гончару, А.А. Кокошину, С.П. Курдюмову, В.Л. Макарову, Г.Г. Малинецкому, Г.Б. Манелису, В.С. Мясникову, Ю.С. Осипову, Ю.А. Рыжову, В.А. Садовничему, В.С. Стёпину, В.Е. Фортову, А.Ю. Шевякову и членам Никитского клуба за понимание, а также фонду РФФИ за поддержку этих исследований.

## Список литературы

1. Капица С П "Феноменологическая теория роста населения Земли" УФН **166** 63 (1996) [Kapitsa S P "The phenomenological theory of world population growth" Phys. Usp. **39** 57 (1996)]
2. Капица С П *Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле* (М.: Наука, 1999); см. также: *Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. очерк теории роста человечества* (М.: Международная программа образования, 1999)
3. Капица С П *Парадоксы роста. Законы развития человечества* (М.: Альпина нон-фикшн, 2009)
4. Kapitza S P *Global Population Blow-Up and After. The Demographic Revolution and Information Society* (A Report to the Club of Rome and the Global Marshall Plan Initiative) (Hamburg: Tolleranza, 2006, Moscow, 2007)
5. Шкловский И С *Вселенная, жизнь, разум* Доп. 6-е изд. (М.: Наука, 1987) [Shklovskii I S *Intelligent Life in the Universe* (San Francisco: Holden-Day, 1966)]
6. Prigogine I, Stengers I *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature* (Boulder, CO: New Science Library, 1997) [Пригожин И, Стенгерс И *Время, хаос, квант. К решению парадокса времени* 5-е изд. (М.: УРСС, 2003)]
7. Самарский А А, Галактионов В А, Курдюмов С П, Михайлов А П *Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений* (М.: Наука, 1987) [Samarskii A A, Galaktionov V A, Kurdyumov S P, Mikhailov A P *Blow-Up in Quasilinear Parabolic Equations* (Berlin: De Gruyter, 1995)]
8. Малинецкий Г Г (Ред.), Курдюмов В С (Сост.) *Режимы с обострением. Эволюция идеи* (М.: Физматлит, 2006)
9. Haub C, Population Reference Bureau, Washington, D.C., 2003, <http://www.prb.org/>
10. Chesnais J-C *The Demographic Transition. Stages, Patterns, and Economic Implications* (Oxford: Clarendon Press, 1992)
11. Савельева И М, Полетаев А В *История и время: в поисках утраченного* (М.: Языки русской культуры, 1997)
12. Cohen J E *How Many People Can the Earth Support?* (New York: Norton, 1995)
13. Braudel F *On History* (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980)
14. Мясников В С "Российский анти-Мальтус". *Вестник РАН* (7) 646 (2000) [Myasnikov V S "A Russian anti-Malthus" *Herald Russ. Acad. Sci.* **70** 407 (2000)]
15. Meadows D H et al. *The Limits to Growth* (New York: Universe Books, 1972)
16. May R "The dimensions of life on Earth", in *Nature and Human Society. The Quest for a Sustainable World* (Report of US National Academy of Sciences on Biodiversity) (Ed. P Raven) (Washington, DC: National Academy Press, 2000); Kapitza S "Global population growth and biodiversity" in *Nature and Human Society. The Quest for a Sustainable World* (Report of US National Academy of Sciences on Biodiversity) (Ed. P Raven) (Washington, DC: National Academy Press, 2000)

17. Биндэ Дж (Ред.) *К обществам знания. Всемирный доклад ЮНЕСКО* (Париж: ЮНЕСКО, 2005)
18. Fukuyama F *The End of History and the Last Man* (New York: Free Press, 1992)
19. Манелис Г Б, частное сообщение
20. Баренблatt Г И *Автомодельные явления — анализ размерностей и скейлинг* Пер. с англ. (Долгопрудный: Интеллект, 2009)
21. Buchanan P J *The Death of the West: How Dying Populations and Immigrant Invasions Imperil our Country and Civilization* (New York: Thomas Dunne Books/St. Martin's Press, 2002) [Быюкенен П Дж *Смерть Запада. Чем вымирание населения и усиление иммиграции угрожает нашей стране и цивилизации* (М.: АСТ, 2004)]
22. Eberstadt N "The demographic future. What population growth and decline means for the global economy", Foreign Affairs, pp. 54–64 (2010); and other papers 6, November, 1989–December, 2010, <http://www.foreignaffairs.com>

## On the theory of global population growth

**S.P. Kapitza**

*Institute of Socio-Economic Studies of Population, Russian Academy of Sciences,*

*Nakhimovskii prosp. 32, 117218 Moscow, Russian Federation*

*P.L. Kapitza Institute for Physical Problems, Russian Academy of Sciences,*

*Vorob'evskoe shosse 2, 117334 Moscow, Russian Federation*

*Tel. (7499) 137-65-77. Fax (7-499) 938-20-30*

*E-mail: sergey.kapitza@gmail.com*

Ours is an epoch of global demographic revolution, a time of a rapid transition from explosive population growth to a low reproduction level. This, possibly the most momentous change ever witnessed by humankind has, first and foremost, important implications for the dynamics of population. But it also affects billions of people in all aspects of their lives, and it is for this reason that demographic processes have grown into a vast problem, both globally and in Russia. Their fundamental understanding will to a large extent impact the present, the short-term future following the current critical epoch, the stable and uniform global development and its priorities, and indeed global security. Quantitative treatment of historical processes is reached using the phenomenological theory of mankind's population growth. This theory relies on the concepts and methods of physics and its conclusions should take into account the ideas of economics and genetics.

PACS numbers: **01.75.+m**, 89.65.Cd

DOI: 10.3367/UFNr.0180.201012f.1337

Bibliography — 22 references

*Received 13 September 2010*

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **180** (12) 1337–1346 (2010)

*Physics – Uspekhi* **53** (12) (2010)