Глава 12

Глобальная динамика

Человек проживает на Земле более 1 миллиона лет в изменчивых условиях; за это время ледниковые периоды сменялись периодами потепления, и никто не может сказать нам определённо, охлаждается ли окружение, в котором мы живём, или нагревается. Несмотря на меняющиеся условия существования, численность популяции человека непрерывно возрастала, и это возрастание можно объяснить количественно, если принять во внимание, что человек непрерывно улучшает качество своего непосредственного окружения. Сколь долго может продолжаться этот рост? Существуют ли пределы роста? В этой главе мы обсуждаем развитие человеческой популяции, принимая во внимание производственную деятельность и её влияние на рост популяции.

12.1 Производственная деятельность с начала новой эры

С древнейших времен человек производил продукты для поддержания своей жизнедеятельности: охотился, собирал плоды и растения, строил жилища, изготавливал инструменты для строительства и орудия для охоты (Массон, 1976). Развитие производственной деятельности человека приводило к улучшению условий существования и возрастанию численности популяции. В основу реконструкции производственной деятельности человека на Земле положены оценки мирового валового внутреннего продукта Y и общей численности населения N, выполненные Мэддисоном (Maddison, 2006, Appendix B).[1] Эти данные представлены точками на рис. 12.1 и 12.2.

Можно полагать, что производственная деятельность человечества в настоящем и прошлом подчиняется общим принципам, установленным в предыдущих главах. Это позволяет при некоторых более или менее разумных предположениях сделать оценку переменных, характеризующих технологические достижения популяции в прошлые столетия. Чтобы представить картину развития, мы используем для описания величины, относящиеся к производственной системе популяции человека на Земле в целом. Это приближение является самым грубым, но не лишенным некоторых разумных оснований при первоначальном подходе к проблеме.

12.1.1 *Валовой внутренний продукт*

Валовой внутренний продукт представляет оценку результатов всей производственной деятельности популяции за единицу времени, обычно год. На рис. 12.1 показаны оценки мирового ВВП по Маддисону (Maddison, 2006, Appendix B), выполненные в международных долларах 1990 года (1990 international Geary-Khamis dollars), которые по своему определению представляют денежную единицу постоянной покупательной способности.

Рассматриваемая в этой монографии теория общественного производства устанавливает, что валовой внутренний продукт Y существенным образом определяется трудозатратами L и работой P приспособлений и оборудования (основного капитала K), замещающей усилия людей в производственных процессах. В простейшем, одноотраслевом приближении выражение для производства стоимости (уравнение 6.16) представляется двумя альтернативными функциями

$$Y = \begin{cases} \xi K, & \xi > 0 \\ Y_0 \dfrac{L}{L_0} \left(\dfrac{L_0}{L} \dfrac{P}{P_0} \right)^{\alpha}, & 0 < \alpha < 1 \end{cases} \tag{12.1}$$

Коэффициент ξ представляет предельную производительность капитала; предельные производительности труда и замещающей работы

---

[1] Точность значений вряд ли можно переоценить. Во всяком случае, имеются (см. например, Lo Cascio and Malanima, 2009) и будут появляться поправки к оценкам Маддисона. Мы предпочли использовать оригинальные цифры Маддисона, имея в виду, что здесь представлен, прежде всего, метод изучения производственной деятельности.

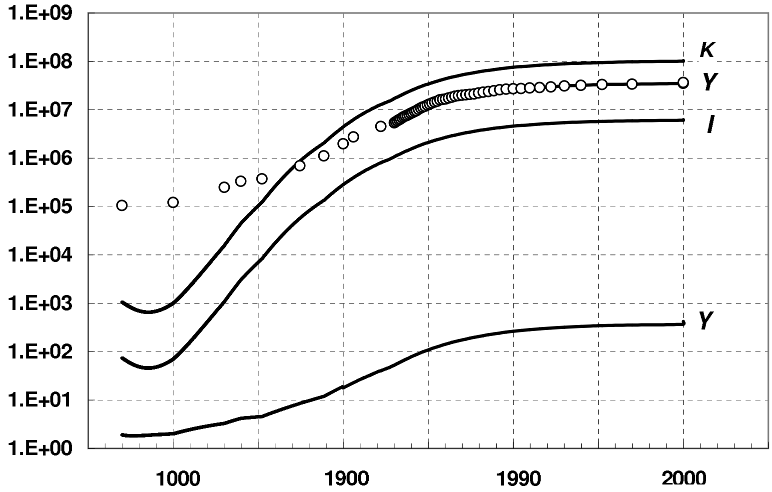

Рисунок 12.1 Валовой внутренний продукт

Кружечками показаны значения ВВП в миллионах международных (1990) долларов по Маддисону (Maddison, 2006, Appendix B). Ниже показаны значения инвестиций I а выше - значения стоимости основного производственного оборудования K также в миллионах международных (1990) долларов. Нижняя кривая изображает значения ВВП, измеренные энергетическим масштабом, за единицу принято значение 10^{16} Джоулей.

выражаются через индекс α. Величины α и ξ являются взаимосвязанными внутренними характеристиками производственной системы как таковой.

По значениям Y можно оценить темп роста валового внутреннего продукта; по данным Маддисона (Maddison, 2006, Appendix B) находим, что в начале нашей эры (предположительно до 1000 года) темп роста ВВП равен примерно 0.014 % в год.

12.1.2 *Трудозатраты и общее потребление энергии*

Важнейшими производственными факторами являются трудозатраты L и работа замещения P, которые и определяют стоимость выпуска (ВВП) по уравнению (12.1). Эти величины связаны, соответственно, с общей численностью населения N и общим потреблением энергии E.

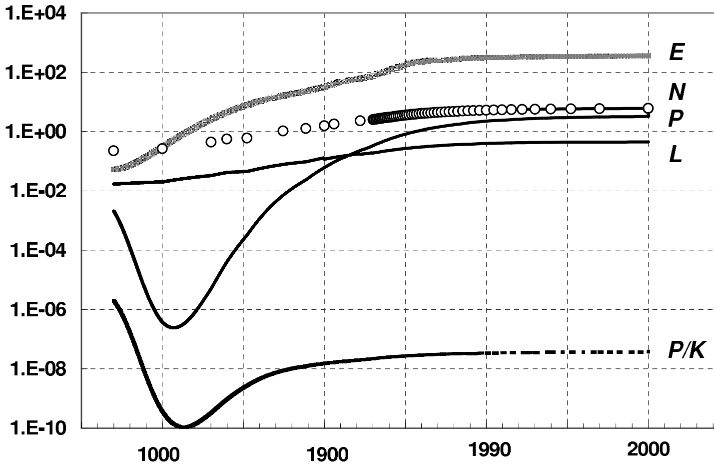

Рисунок 12.2 Производственные факторы

Кружечки представляют значения численности населения по Мэддисону (Maddison, 2006, Appendix B) в миллиардах человек. Верхняя кривая представляет общее потребление энергоносителей по источникам, указанным в тексте. Нижние кривые – производственные факторы: трудозатраты L (сплошная кривая) и работа замещения P (пунктирная линия). Все величины (кроме численности) оценены единицей равной 10^{18} Джоулей за год.

Экономически активное население

Численность популяции человека по Мэддисону (Maddison, 2006, Appendix B) показана на рис. 12.2 кружечками. В эту численность включены рабы, которые, с точки зрения древних, рассматривались как машины для выполнения определённых производственных операций (Валлон, 1936).

Не все население участвует в производстве, но только его экономически активная часть, что составляет приблизительно половину всей численности (см. также раздел 2.4.2 в главе 2). Оценивая усилия работающего человека энергозатратами, полагаем (см. обсуждение в разделе 2.4.1), что за год человек затрачивает $\approx 4 \cdot 10^9$ Дж/год. Можно допустить, что на выполнение производственной работы используется на порядок меньше, то есть $\approx 4 \cdot 10^8$ Дж/год. На рис. 12.2 приведены оцененные таким образом, трудозатраты L в энергетических единицах. По этим значениям вычисляются темпы роста трудозатрат

$$\nu = \frac{1}{L}\frac{dL}{dt}, \tag{12.2}$$

которые, при сделанных предположениях, естественно совпадают с темпами роста популяции. По данным Маддисона (Maddison, 2006, Appendix B) находим, что в начале нашей эры (предположительно до 1000 года) темп роста населения равен 0.017 % в год, что больше чем темп роста ВВП в то же время. Это показывает на убывание производительности труда и на соответствующее ухудшение условий жизни популяции. Однако, возможно, что такая ситуация связана с недостаточной аккуратностью оценок ВВП и численности населения в первые столетия нашей эры.

Потребление сторонней энергии

Уже с глубокой древности хозяйственная деятельность человека сопровождалась привлечением в том или другом виде сторонней энергии; использование огня было отмечено около миллиона лет назад (Berna и другие, 2012) и явилось, быть может, критической точкой в развитии человечества. Около начала нашей эры уже, кроме применения животных для выполнения сельскохозяйственных работ, наблюдается также использование приспособлений, позволяющих замещать усилия человека работой ветра (в мореплавании) и воды (см. рис. 11.2 в предыдущей главе).

Оценки общего потребления (использования) энергии E показаны на рис. 12.2 по различным источникам: значения E для недавнего прошлого (с 1965 года) взяты из обзора (BP Statistical Review of World Energy, 2012), значения потребления энергии с 1820 года приведены по работе Вацлава Смила (Smil, 2010), оценки до 1820 года найдены при предположении, что темп прироста потребления энергии увеличивается от нулевого значения в начале нашей эры до значения 0.0063 в 1820 году. Это позволяет оценить мировое потребление энергии в начале нашей эры как $5,4 \cdot 10^{16}$ Джоулей в год или $2,4 \cdot 10^{8}$ Джоулей в год на человека.

Однако производственным фактором в функции (12.1) является часть общего потребления энергии P, замещающая усилия человека в процессах производства. Мерой замещения является технологический коэффициент $\overline{\lambda}$. Человеческие усилия являются, конечно, основной движущей силой, но, при условии $\overline{\lambda} < 1$, как можно судить по соотношению (6.25), эти усилия частично замещаются работой машин, действующих с помощью дополнительных источников энергии, и производительность труда увеличивается. Если $\overline{\lambda} = 1$, изменения в технологии не происходят, производительность труда постоянна, и все приращение продукта связано только с увеличением численности рабочих и интенсивности их труда. Значения замещающей работы показаны на рис. 12.2; можно видеть, что темп роста замещающей работы, вообще говоря, отличен от темпа роста полного потребления энергии. Метод оценки замещающей работы обсуждается в разделе 12.1.5.

12.1.3 *Основной капитал и его производительность*

Хотя истинными источниками стоимости являются трудозатраты и замещающая работа, выпуск Y также можно связать с наличными инструментами и оборудованием, стоимость которых K определяется как основной капитал,

$$Y = \xi K, \tag{12.3}$$

где ξ является производительностью основного капитала K. Производственное оборудование представляет часть общественного богатства, в которое включаются жилища, посуда, предметы для развлечения, а также нематериальные достижения (принципы морали, мифы, знание целебных растений и прочее), однако строгий перечень составляющих производственного оборудования трудно составить. Действительно, жилище, например, может рассматриваться как приспособление для создания комфорта, или же как предмет потребления. Удобно всё же считать, что мы имеем дело с некоторым составом производственного оборудования, стоимость которого оценена как K.

Темп роста производительности основного капитала ξ можно найти по соотношению для темпа роста выпуска (6.25), которое переписываем следующим образом

$$\frac{1}{\xi}\frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{Y}\frac{dY}{dt} - \frac{\nu + (1-\overline{\lambda})\mu}{\overline{\lambda}}. \tag{12.4}$$

Для выполнения оценки должны быть известны темп роста производства стоимости, безразмерный технологический коэффициент замещения $\overline{\lambda}$, темп роста трудозатрат ν и коэффициент обесценивания μ.

Темпы роста выпуска и трудозатрат оцениваются по данным Маддисона так, как обсуждалось выше, но значения коэффициентов выбытия μ и замещения $\overline{\lambda}$ должны быть заданы на основе некоторых соображений. Значение коэффициента выбытия принималось одинаковым во все времена и равным $\mu = 0.07$. Это значение выбрано таким

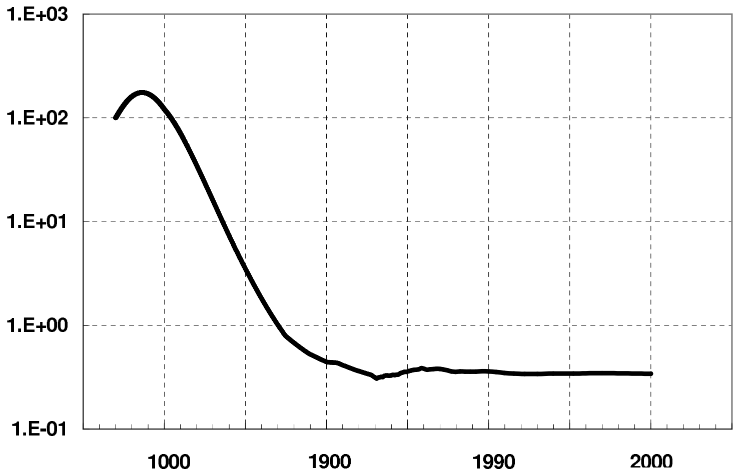

Рисунок 12.3 Производительность оборудования

способом, что в годы близкие к нашему времени производительность основного капитала приближается к известным оценкам.

Оценки меры замещения $\overline{\lambda}$ могут быть найдены по выражению для установившихся ситуаций

$$\overline{\lambda} = \frac{\nu + \mu}{\delta + \mu}$$

В начале рассматриваемого периода, темпы роста трудозатрат ν и основного капитала δ были меньшими, чем коэффициент выбытия μ, так что $\overline{\lambda} \approx 1$. Учитывая, что в начале нашей эры наблюдался некоторый регресс (темп роста ВВП был меньше чем темп роста численности населения), принято значение $\overline{\lambda} = 1.02$. В начале второго тысячелетия нашей эры (после 1000 года) наблюдается прогресс, что для описания требует отрицательных значений технологического коэффициента ($\overline{\lambda} < 1$). Полагаем, что значения меры замещения уменьшается от $\overline{\lambda} \approx 1$ в начале эры до современного значения ($\overline{\lambda} \approx 0.8$), так что работа замещения увеличивается со временем быстрее, чем трудозатраты.

Для восстановления значений производительности ξ можно использовать соотношение (12.4), при этом необходимо задавать значение начальной производительности. Вместо этого мы полагаем известным конечное значение; $\xi \approx 0.5$ соответствует значениям производительности основного капитала наблюдаемому в наше время в ряде стран. Это условие определяет начальное значение $\xi \approx 100$. Вычисленные значения производительности производственного оборудования показаны на рис. 12.3. Не нужно удивляться, что в начале нашей эры производительность производственного оборудования оказывается столь большой по сравнению с современными значениями. Источником стоимости являются трудозатраты и работа замещения, и в эпоху, когда преобладал ручной труд при малом (по стоимости) количестве инструментов и приспособлений, на единицу основного капитала (по стоимости) приходился большой выпуск стоимости. Для того, чтобы привлечь к производству новые источники энергии (уголь, нефть) в 17 - 19 веках необходимо было создать громоздкие и дорогостоящие приспособления (машины), что привело к уменьшению производительности производственного оборудования.

При известных значениях выпуска и производительности капитала формула (12.4) позволяет восстановить значения стоимости производственного оборудования, которые показаны на рис. 12.1. Далее по известному темпу роста капитала и коэффициента выбытия формула (5.6) позволяет восстановить значение инвестиций, показанные также на рис. 12.1. Доля инвестиционного продукта (инструменты, оборудование, материалы для производства) в валовом мировом продукте до 1000 года нашей эры не превышает 0.001, и только к началу семнадцатого века поднимается до значения 0.01. Но уже в середине девятнадцатого века достигает значения 0.1 и в настоящее время доля инвестиционного продукта имеет значение около 0.2.

12.1.4 *Замещающая работа*

Простой метод, описанный ранее (см. главу 7, раздел 7.1.2), позволяет нам вычислить замещающую работу P, если эмпирические временны́е ряды выпуска Y, капитала K и трудозатрат L известны. Для этого необходимо также начальное значение замещающей работы P_0, которое не известно в начале нашей эры, но можно судить о значении замещающей работы в наши дни, которое, по-видимому, в несколько раз превышает значение замещающей работы для США, которое равно примерно 10^{18} Джоулей. Это позволяет сделать оценки при обращении направления хода вычислений: от конечных значений к начальным. Вычисленные таким образом значения замещающей работы показаны на рис. 12.2. Обратим внимание, что значение величины в начальной точке подозрительно велико.

При этом также оцениваются значения индекса α, которые показаны на рис. 12.4. Технологический индекс α может быть оценен также

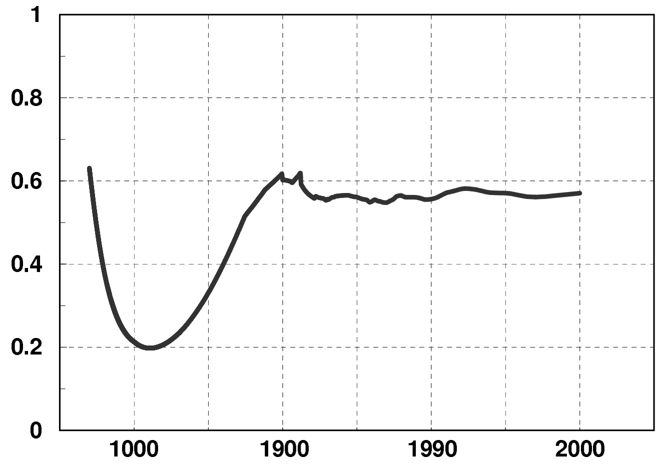

Рисунок 12.4 Технологический индекс

как доля, необходимая для поддержания производственного оборудования, используемого для привлечения сторонней энергии как производственного фактора, в полных расхода на содержание производственных факторов (см. глава 6, раздел 6.7). По этим соображениям, значение технологического индекса в начале нашей эры, когда роль производственного оборудования очень мала, должно быть малым, и начальную точку на рис. 12.4 следует считать недостоверной. С течением времени при увеличением роли производственного оборудования значение технологического индекса увеличивается, что демонстрирует рис. 12.4. Для сравнения можно взглянуть на современные значения технологического индекса для США и России (соответственно, рис. 7.1 и рис. 8.5).

Величина замещающей работы показывает уровень технологического развития производственной системы. Значения замещающей работы по сравнению с энергетической оценкой усилий людей, как видно на рис. 12.5, малы в начале нашей эры, но в наши дни это отношение приближается к единице. Для сравнения обратим внимание на рис. 2.9 главы 2: значение отношения факторов производства для России приближается к единице, в то время как для США отношение больше десяти.

12.1.5 *Универсальная мера стоимости*

Напомним, что в теории Смита-Маркса постулируется, что труд является единственным источником всего созданного богатства, и затраты труда могли бы быть мерой стоимости, но при учёте эффекта замещения, можно ожидать, что общая величина работы, как сумма должным образом учтённых усилий работающих и истинной замещающей работы производственного оборудования, является абсолютной мерой стоимости. Чтобы проверить справедливость этого утверждения, следует вычислить работу, необходимую для создания продукта стоимостью одна денежная единица, что другими словами может быть определено как 'энергетическое содержание денежной единицы', которое может быть вычислена как отношение полной работы к выпуску

$$\epsilon = (P + L)/Y. \tag{12.5}$$

Не следует ожидать, что эта величина постоянна в случае, если выпуск Y измерен денежной единицей постоянной покупательной способности, что предполагается при написании соотношений (12.1). Такого рода денежная единица не является неизменной мерой стоимости, и её 'энергетическое содержание' меняется в течение времени. Легко установить по записанным выше соотношениям, что в нашу индустриальную эпоху, когда $P \gg L$,

$$\epsilon \propto \exp(\eta - \delta)t, \quad \eta - \delta > 0, \tag{12.6}$$

где η и δ - темпы роста замещающей работы и основного капитала, соответственно. В противоположном случае, когда $L \gg P$,

$$\epsilon \propto \exp(\nu - \delta)t, \quad \nu - \delta < 0, \tag{12.7}$$

где ν - темп роста трудозатрат в производстве.

Полученные ранее результаты позволяют оценить суммарную работу ϵ, необходимую для создания продукта стоимостью один международный (1990) доллар. На рис. 12.5 сплошной срединной линией представлены оценки этой величины для различных эпох. Энергетическое содержание международного (1990) доллара для нашей эпохи равно $\approx 10^5$ Джоулей, что соответствует оценкам доллара США 1996 года (см. рис. 11.3), однако в начале нашей эры (1-1000 годы) энергетическое содержание международного доллара в несколько раз больше. В соответствии с соотношениями (12.6) и (12.7), 'энергетическое

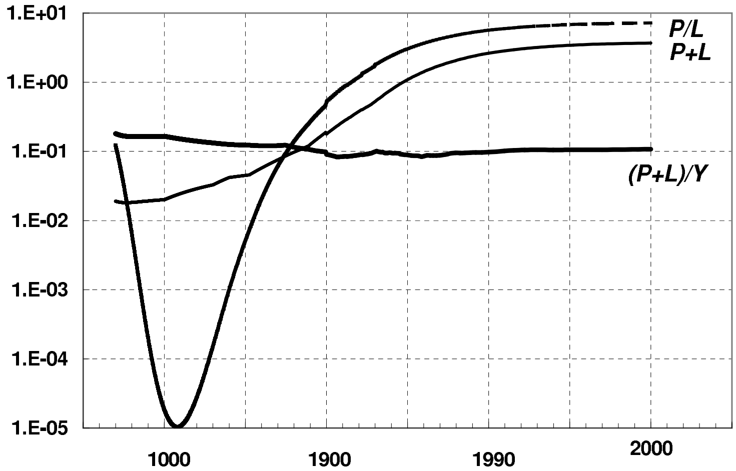

Рисунок 12.5 Сравнение замещающей работы и усилий людей

Представлены сумма замещающей работы и усилий работающих (в единицах 10^{18} джоулей) а также их отношение. Точечная кривая представляет энергетическое содержание международного (1990) доллара в мегаджоулях (10^6 Джоулей) на международный (1990) доллар.

содержание' международного (1990) доллара уменьшается (от $\approx 2 \cdot 10^5$ Джоулей) с начала нашей эры в течение приблизительно тысячи с половиной лет и увеличивается медленно в последних столетиях.

Повышенные оценки 'энергетического содержания' денежной единицы в начале эры по сравнению с той же величиной в наши дни может быть связано с тем, что оценки усилий людей в древнюю эпоху оказываются завышенными: человек не стремился к накоплениям, а для удовлетворения своих потребностей было достаточно трудиться не 6 -8 часов в сутки, а меньшее количество часов. Кроме того, как уже отмечалось ранее (см. раздел 2.4.1), возможности человеческого двигателя могли быть меньшими в начале нашей эры, как можно судить по имеющимся исследованиям (Fogel, Costa 1997), так что вычисленные значения могли оказаться завышенными. Чтобы оценить валовой внутренний продукт в энергетическом масштабе, можно выбрать произвольное постоянное значение энергии. На рис. 12.1 показаны значения ВВП, когда в качестве единицы измерения стоимости использовано значение 10^{16} Джоулей.

Наблюдаемое соответствие различных оценок энергетического содержания денежных единиц измерения стоимости подтверждает принципы и соотношения трех-факторной теории общественного производства.

12.1.6 *Заключительные замечания*

Соотношения технологической теории экономического роста позволяют при некоторых более или менее разумных предположениях сделать оценку переменных, характеризующих технологические достижения популяции в прошлые столетия. При этом обнаруживается, что используемые оценки численности населения и валового внутреннего продукта в начальные годы нашей эры приводят к пародоксальным следствиям: индекс уровня технологического развития P/L (использование замещающей работы) высок и падает фактически до нуля к 1000 году (рис. 12.5); значения технологического индекса в начальные столетия нереалистично высоки (рис. 12.4). Эти результаты могли бы свидетельствовать о технологическом регрессе, якобы имевшем место в первые столетия нашей эры, но вероятнее всего, эти результаты является лишь следствием недостаточно точной оценки валового внутреннего продукта и численности населения Маддисоном (Maddison, 2006) в первые годы нашей эры. Оценки ВВП и трудозатрат для первого тысячелетия нашей эры будут уточнены на основании оценок Делонга (DeLong, 1999) при рассмотрении раннего развития производственной системы в разделе 12.3 этой главы.

12.2 Стеснённый рост популяции человека

В отличие от других популяций, человек живёт в окружении, которое частично создано самим человеком: одежда, здания, машины, транспортные средства, сети снабжения и коммуникации, домашние приспособления и тому подобное не являются естественными образованиями. Вода и тепло поступают в жилища. Всё это можно определить как искусственную среду обитания, которая является важным атрибутом человеческого существования и должна быть включена в рассмотрение.

В простейшем приближении популяция человека, как, впрочем, и любая другая биологическая популяция, может характеризоваться её численностью N; изменение этой величины определяется (Lotka, 1925;

Volterra, 1931; Murray, 1989) простым балансовым соотношением

$$\frac{dN}{dt} = (b - d)N, \tag{12.8}$$

где темп роста популяции $b - d$ определяется коэффициентами рождаемости и смертности, b и d, соответственно.

Уравнение (12.8) универсально и применимо к любой биологической популяции. Однако коэффициенты b и d определяются обстоятельствами жизни особей популяции. Так, эти коэффициенты могут зависеть от численности той же самой популяции N или же от некоторых других переменных; в случае популяции человека следует ввести характеристики результатов деятельности производственной системы. Далее мы полагаем, следуя работе (Pokrovskii, 1999), что темп роста $b - d$ существенным образом определяется качеством среды обитания человека, которую, дополнительно к естественным обстоятельствам, можно в простейшем приближении характеризовать общественным богатством, приходящегося на одного индивида.

12.2.1 *Оценки численности популяции*

Открытие и изучение останков древних людей дало основание для утверждения, что человек появился в Африке около трёх миллионов лет назад (Leakey, 1981), и с того отдалённого времени распространился почти по всей территории Земли. Предполагаемая история спотыкающегося движения человека через морские проливы и горные хребты во времени от двух миллионов до пятисот тысяч лет назад была проанализирована и воспроизведена с помощью компьютерной модели (Mithen and Reed, 2002). Методы ДНК-генеалогии (изучение мутаций в Y-хромосоме человека) позволили выяснить (Клёсов и Тюняев, 2010), что все живущие сейчас люди являются потомками небольшой однородной группы людей, которая выжила после какой-то планетарной катастрофы, случившейся около 65 тысяч лет назад. Причиной катострофы было, возможно, падение на Землю крупного небесного тела (Юрковец, 2015; Юрковец и Василенко, 2017). Изучение костных остатков позволяют выяснить детали расселения и эволюции человека современного вида, который, вытесняя предшествующие виды, заселил Европу и Азию (Клёсов и Тюняев, 2010)

Оценки численности популяции N на Земле показаны в Таблице 12.1, которая в существенной части воспроизведена из предшествующей работы (Pokrovski, 1999). Быстрый рост популяции происходил

Таблица 12.1 Эволюции популяции человека

	N, 10^6 чел.	$b-d$, год$^{-1}$	$N/\overline{N}$	$\overline{N}$, 10^6 чел.	$a^* = r/\overline{N}$, чел.$^{-1}$ год$^{-1}$	W/N, \$/чел.
10^5 B.C.	0.03			0.03	10^{-6}	1
8000 B.C.	10	0.0006	0.978	10.2	2.71×10^{-9}	10
1000 A.D.	280	0.0004	0.986	284	9.75×10^{-9}	20
1650	516	0.003	0.892	579	4.79×10^{-11}	50
1850	1,171	0.007	0.747	1,567	1.77×10^{-11}	100
1900	1,668	0.007	0.747	2,232	1.24×10^{-11}	200
1920	1,968	0.008	0.711	2,767	1.10×10^{-11}	250
1960	3,308	0.019	0.314	10,530	2.63×10^{-12}	2500
1990	5,268	0.0166	0.401	13,146	2.11×10^{-12}	11000
1995	5,700	0.0141	0.454	12,577	2.20×10^{-12}	14000
2000	6,090	0.0126	0.545	11,172	2.48×10^{-12}	18000
2010	6,864	0.0112	0.596	11,523	2.40×10^{-12}	30000
2020	7,628	0.0096	0.653	11,674	2.37×10^{-12}	40000
2030	8,314	0.0076	0.726	11,458	2.42×10^{-12}	50000

Вторая и третья колонки дают оценки общей численности и темпа роста населения по Carr-Saunders (1936), Clark (1968) и Durand (1977). Значения этих величин для 1995 - 2030 годов взяты по сообщению: The U.S. Census Bureau (http://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table population.php).

в некоторые моменты истории, обозначаемые как культурная революция (около 10^6 лет назад), агрокультурная революция (около 10^4 лет назад) и промышленная революция, которая началась в 17 - 18 веках (Гринин, 2006). В течение последних четырёх тысяч лет население Земли увеличилось от 30 миллионов до почти 7 миллиардов. Зависимость численности популяции в последние несколько сот лет может быть аррроксимирована (Шкловский 1987, раздел 25) гиперболическим законом:

$$N = c/(2030 - t),$$

где t – время в годах нашего летоисчисления. Очевидно, как отмечает Шкловский, указанная аппроксимация не годится для прогнозирования роста населения в XXI веке. Последняя колонка таблицы содержит оценку общественного богатства, приходящегося на одного индивида. В состав общественного богатства следует включить все материальные (здания и сооружения, машины, транспортные средства, сети снабжения и коммуникации, домашние приспособления, одежда ...) и нематериальные ценности (системы знания, проектные решения, этические правила, произведения искусства ...), которые могут быть оценены в терминах стоимости. Для оценки изменения стоимости общественного богатства W следует воспользоваться балансовым уравнением (6.28), которое определяет скорость изменения общественного богатства как разницу между результатом производительной деятельности членов общества в течение некоторой единицы времени (валовой национальный продукт) Y, обсуждаемом в разделе 12.1.1, и исчезновением общественного богатства на том же самом промежутке времени, как в результате непосредственного потребления, так и из-за старения или ухудшения общественного богатства.

12.2.2 *Закон Мальтуса – экспоненциальный рост*

В простейшем случае, можно предположить, что темп роста популяции постоянен

$$b - d = r.$$

Тогда, уравнение (12.8) имеет решение

$$N(t) = N(0) \exp\ rt. \tag{12.9}$$

В применении к популяции человека этот закон был рассмотрен Мальтусом (Maltus, 1798), который нашел, что, если рост популяции ничем не сдерживается, то численность популяции удваивается приблизительно каждые 25 лет[2], что определяет темп роста

$$r \approx 0.0277 \quad \textit{1/год}, \tag{12.10}$$

[2]Мальтус (Malthus, 1798) пишет в шестой главе первого издания книги (в моем переводе): 'Было отмечено, что все новые колонии основывались в благоприятных местах и непрерывно увеличивались с удивительной скоростью роста. Некоторые из колоний древней Греции в непродолжительный период более чем уравнивались с их метрополиями в численности населения и силе. Не ограничиваясь отдаленными примерами, отметим, что европейские поселения в новом мире свидетельствуют о справедливости замечания, которое, насколько я знаю, никогда не подвергалось сомнению. Изобилие хорошей земли, которая приобреталось за немногое или ничто, является столь мощной причиной роста населения, преодолевающего все другие препятствия.... Последствие этих благоприятных обстоятельств была скорость роста, вероятно ни с чем не сравнимая в истории. Во всех северных колониях население удваивается через двадцать пять лет.... Оказалось, что в Нью-Джерси период удвоения был двадцать два года; а в Род-Айленде еще меньше. В дальних поселениях, где жители занимаются исключительно сельским хозяйством и не знают

так что $1/r \approx 36.1$ год оказывается временем, за которое численность популяции возрастает в $e \approx 2.72$ раз. Значение величины близко к 42 годам – значению постоянной, введённой С.П. Капицей (1996). Этот масштаб также близок ко времени жизни одного поколения. Постоянная Мальтуса определяет некоторый временной масштаб, значение которого, возможно, нуждается в уточнении.

В применении к популяции человека закон (12.9) может быть верен для некоторых популяций в некоторые периоды времени, но не описывает наблюдаемый рост популяции человека за всю его историю. Темп роста популяции человека возрастает, и мы должны распознать факторы, влияющие на скорость роста.

12.2.3 *Ограниченный рост – логистическая кривая*

Со времён Мальтуса стало понятно, что наличие доступных ресурсов ограничивает рост популяции человека, и изучение этого ограничения оказалось центральным и плодотворным в исследование проблемы. Лимитирующие факторы (пища, жилища, болезни и т. д.) определяют, что в каждый момент времени существует некоторое предельное значение численности $\overline{N}(t)$. Рост популяции в этой ситуации описывается известным уравнением Ферхюльста–Пёрла (Verhulst, 1838; Pearl, 1927; см. также, например, Murray, 1989), установленным вначале для биологических популяций (Verhulst, 1838; Pearl, 1927) и нашедшим применение при описании особенностей роста популяции человека. Уравнение Ферхюлста-Пёрла имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = r\left(1 - \frac{N}{\overline{N}}\right)N, \tag{12.11}$$

где r есть внутренний, биологический темп роста популяции – постоянная Мальтуса. В этом случае темп роста популяции (коэффициент рождаемости-смертности) не постоянен и имеет вид

$$b - d = r\left(1 - \frac{N}{\overline{N}}\right). \tag{12.12}$$

Уравнение (12.11) имеет стационарную точку $\overline{N}$, которая устойчива, поскольку $\frac{dN}{dt} < 0$ при $N > \overline{N}$ и $\frac{dN}{dt} > 0$ при $N < \overline{N}$. Явное

роскоши, население удваивается через пятнадцать лет, самый необычайный случай роста. По морскому побережью, которое естественно должно заселяться в первую очередь, период удвоения был приблизительно тридцать пять лет; а в некоторых из морских городов, численность населения совершенно не менялась.'

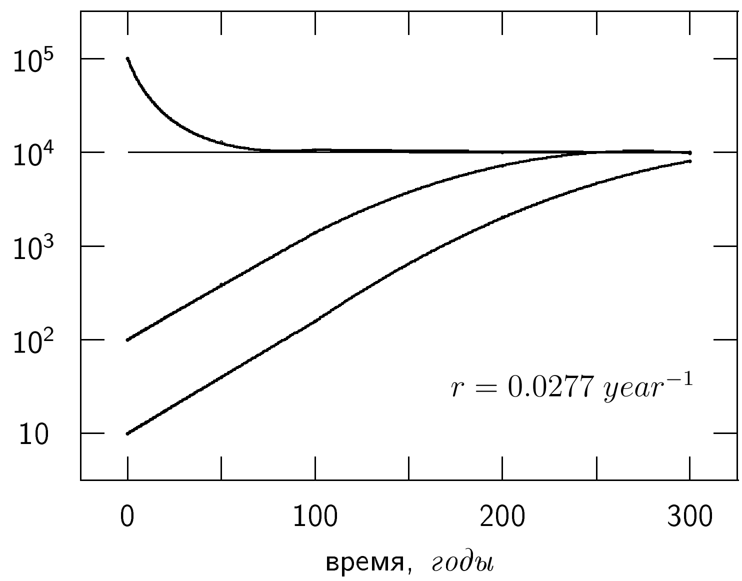

Рисунок 12.6 Эволюция численности популяции

Траектории эволюции приближаются к линии $N = \overline{N}$ сверху при $N > \overline{N}$ или снизу при $N < \overline{N}$. Вычислены по уравнению (12.13) при $r = 0.0277\ year^{-1}$, $\overline{N} = 10^4$, и различных начальных значениях $N(0)$.

решение уравнения (12.11) может быть легко найдено, если записать это уравнение в виде

$$\frac{dN}{N} - \frac{dN}{N - \overline{N}} = r\ dt.$$

Интегрирование этого соотношения определяет решение – уравнение логистической кривой

$$N(t) = \frac{\overline{N}\ N(0) \exp\ rt}{\overline{N} - N(0) + N(0) \exp\ rt}. \tag{12.13}$$

Решение справедливо как для $N(0) < \overline{N}$, так и для $N(0) > \overline{N}$. При любом начальном значении траектории приближаются к асимптотической линии $N = \overline{N}$, как показано на рис. 12.6.

При постоянном значении $\overline{N}$ темп роста популяции зависит от численности N, и уравнение (12.11) оказывается нелинейным. Эта нелинейность связывается обычно с эффектом подавления роста из-за взаимной конкуренции особей популяции. Можно предположить (Pokrovski, 1999), что уравнение (12.11) справедливо для популяции человека в любой момент времени при подходящем значении $\overline{N}$. В этом случае, соотношение (12.12) позволяет при известном значении постоянной Мальтуса оценить эмпирические значения численности $\overline{N}$, которые приведены в таблице 12.1. Найденные значения возрастают монотонно вместе с ростом численности популяции, достигая максимума к концу двадцатого века, и принимают в начале нашего тысячелетия значение

$$\overline{N} \approx 1.15 \times 10^{10}. \tag{12.14}$$

В рассматриваемой ситуации можно также ввести коэффициент взаимного влияния особей или самоотравления a соотношением

$$\overline{N} = \frac{r}{a}. \tag{12.15}$$

Коэффициент взаимного влияния особей на несколько порядков уменьшается от своего естественного (на самой раннем этапе эволюции человека) значения

$$a \approx 10^{-6} \quad \textit{1/год}. \tag{12.16}$$

Изменение коэффициента взаимного влияния также как и предельной численности популяции может быть связано с качеством жизни индивидуума.

12.2.4 *Меняющийся предел роста*

Обращаясь теперь непосредственно к формулировке уравнения для описания роста численности человека, заметим, что население Земли состоит из множества независимо развивающихся популяций (Sauvy, 1969), что особенно верно для начальной стадии развития человечества[3], и потому любое уравнение, описывающее рост популяции, должно быть ковариантно по отношению к произвольным разбиениям чис-

[3] С.П. Капица (1996) утверждает противоположное, например, на стр. 65: "... взаимосвязанность и взаимозависимость современного мира, обусловленные транспортными и информационными потоками, объединяют всех в единое целое и дают неоспоримые возможности рассматривать сегодня мир как глобальную систему. ... И в далеком прошлом, когда людей было мало, а мир в значительной степени был разделен, его популяции медленно, но верно взаимодействовали". На это можно возразить, что для сложных систем, которыми являются популяции, даже взаимодействие в некоторых отношениях не означает, что в популяциях не могут

ленности, то есть, применимо как к отдельным независимым популяциям, так и к совокупности популяций. Например, если для составной популяции $N = N_1 + N_2$, то уравнения роста как для N, так и для N_1, N_2 должны иметь одинаковую форму. Уравнение (12.11) с постоянным значением $\overline{N}$ не удовлетворяет этому требованию, и, следовательно, не годится для описанию роста численности человека, что, впрочем, обсуждалось в предыдущем разделе. Из этих же соображений не годятся и нелинейные уравнения, записанные Капицей (1996).

Тем не менее, уравнение (12.11) может служить удобным исходным пунктом в нашем поиске и позволяет удобно интерпретировать динамику развития. Согласно этому уравнению численность популяции стремится к возможному значению численности $\overline{N}$, которое определяется достигнутым уровнем технологического и организационного развития, позволяющем человеку иметь удобства в получении пищи, устройстве жилища, защите от болезней и другие преимущества. Возможное значение численности популяции $\overline{N}(t)$ меняется по своему собственному закону. Количественной мерой достигнутого уровня жизни может служить суммарная стоимость имущества, приходящегося на одного человека W/N, и мы предполагаем, что существует функция

$$\overline{N} = Nf\left(\frac{W}{N}\right). \tag{12.17}$$

Окружение, непосредственно влияющее на условия жизни человека, является частью общественного богатства, которое включает все достижения популяции, как материальные, так и нематериальные, и оценивается в стоимостных единицах[4]. Современные значения стоимости

протекать независимые процессы, которыми являются, по-видимому, демографические процессы. Во всяком случае, закон композиции совокупности зависимых или независимых популяций должен бы быть обсужден. Судя по некоторым отзывам (Цирель, 2003; Шишков, 2005), концепция С.П. Капицы представляется, в лучшем случае, малообоснованной.

[4]Для описания особенностей роста популяции Коротаев и др. (2005) использовали две переменные: величину, которая по смыслу почти совпадает со скоростью роста благосостояния W/N, и *грамотность*, как фактор, влияющий на уменьшение рождаемости. Однако грамотность может рассматриваться как составная часть общественного богатства и выделение этой части, без рассмотрения других, представляется искусственным. Возможно, по-видимому, указать некоторые другие составляющие общественного богатства, влияющие на уменьшение или увеличение рождаемости. Однако, столь детальное рассмотрение неуместно при нашем грубом описании, и мы ограничиваемся рассмотрением влияния одной характеристики – благосостояния, то есть величины совокупного накопленного общественного богатства (материального и нематериального, что включает грамотность) на одного человека.

общественного богатства можно найти в национальных статистических сборниках. Для США, например, стоимость богатства на одного человека приблизительно равна 40 тысяч долларов, но много меньше для большинства стран мира. Оценить национальное богатство для начального периода развития человечества затруднительно. Чему равна, например, стоимость в современных ценах примитивного жилища, нескольких звериных шкур, примитивных инструментов и примитивных кухонных принадлежностей? Таблице 12.1 содержит возможные оценки, которые, несомненно, нуждаются в уточнении. Однако увеличение богатства со временем на несколько порядков не кажется невероятным.

Возможное значение численности $\overline{N}$ увеличивается с увеличением общественного богатства W. В древние времена величина общественного богатства была очень мала, и значение численности населения N было близко к значению возможной численности $\overline{N}$ как видно по Таблице 12.1. Отношение $N/\overline{N}$ было близко к единице в ранние годы эволюции популяции, и отклонение этой величины от единицы может быть связано линейно со стоимостью имущества на одного человека

$$\frac{N}{\overline{N}(W/N)} \approx 1 - h\,\frac{W}{N}, \quad h\,\frac{W}{N} \ll 1, \tag{12.18}$$

где h есть коэффициент влияния общественного богатства на скорость роста популяции. Можно обратиться к данным в Таблице 12.1, чтобы получить грубую оценку коэффициента влияния

$$h \approx 0.002 \textit{ человек/доллар.}$$

Возможное значение численности популяции $\overline{N}(t)$ увеличивается монотонно при увеличении общественного богатства, однако коэффициент рождаемости-смертности может проявлять немонотонную зависимость. Условием перехода от роста к падению (это событие определяется как демографический переход) является условие экстремума темпа роста популяции

$$b - d = r\left(1 - \frac{N}{\overline{N}}\right), \tag{12.19}$$

который рассматривается как функция времени. Экстремальное значение этой функции определяет условие демографического перехода как условие равенства темпов роста функций N и $\overline{N}$

$$\frac{1}{N}\frac{dN}{dt} = \frac{1}{\overline{N}}\frac{d\overline{N}}{dt}. \tag{12.20}$$

До точки демографического перехода фактическая численность населения тесно следует за убегающим пределом. После точки демографического перехода скорость возрастания численности оказывается меньше скорости возрастания предела.

12.2.5 *Аппроксимация темпа роста популяции*

Для более детального описания рассмотрим отдельно коэффициенты рождаемости и смертности, каждый из которых по предположению зависит от благосостояния, в простейшем случае характеризуемого одной величиной – общественным богатством на одного человека W/N. Полагаем, что влияние благосостояния приводит к уменьшению как коэффициента рождаемости, так и коэффициент смертности по сравнению с некоторыми неопределёнными естественными значениями, которые считаем равными, предполагая, что в естественных условиях численность популяции не меняется. В линейном приближении

$$b = r\left(a - h_b\,\frac{W}{N}\right), \quad d = r\left(a - h_d\,\frac{W}{N}\right). \tag{12.21}$$

Для того, чтобы величина h в соотношении (12.18) была положительной в соответствии с наблюдениями, должны выполняться неравенства $h_d > h_b > 0$, как следует из сравнения соотношений (12.18), (12.19) и (12.21).

Мы полагаем, что далее при увеличении благосостояния коэффициенты рождаемости и смертности продолжают монотонно убывать до некоторых положительных величин, что простейшим образом можно аппроксимировать функциями

$$\begin{aligned} b &= r\left(a - \frac{\gamma x}{1+\beta\gamma x}\right), \quad \beta > 1 \\ d &= r\left(a - \frac{x}{1+\alpha x}\right), \quad \alpha > 1 \end{aligned} \tag{12.22}$$

Здесь для удобства введены безразмерные переменные

$$x = h_d\,\frac{W}{N}, \quad h_b\,\frac{W}{N} = \gamma\,x, \quad \gamma = \frac{h_b}{h_d} < 1. \tag{12.23}$$

Если влияние благосостояния на коэффициент смертности оказывается значительно более сильным по сравнению с влиянием на коэффициент рождаемости, то следует полагать $\gamma \ll 1$.

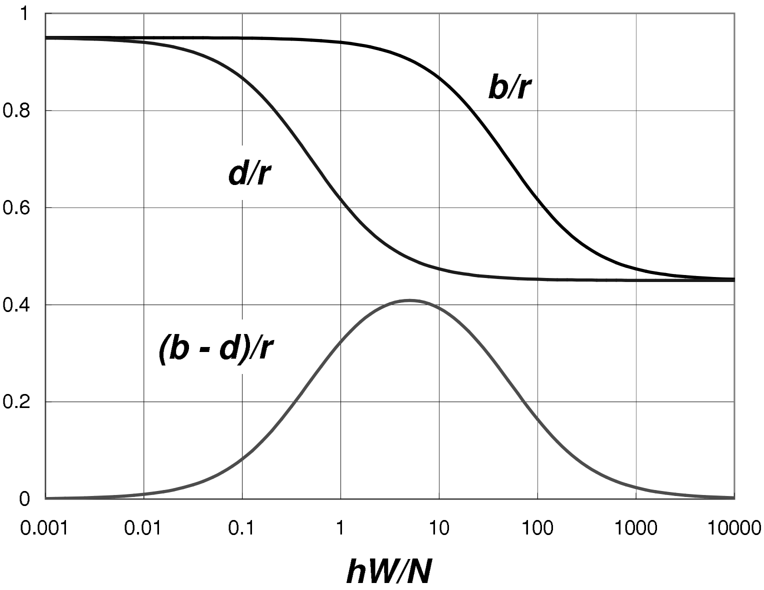

Рисунок 12.7 Демографический переход

Кривые представляют зависимости (12.22) и (12.24) при значениях параметров: $\alpha = 2$, $\beta = 2$ *и* $\gamma = 0.01$.

Записанные выше аппроксимации (12.22) определяют выражение для темпа роста популяции

$$b - d = r\left(\frac{x}{1+\alpha x} - \frac{\gamma x}{1+\beta\gamma x}\right), \qquad (12.24)$$

Первый член разложения функции естественно совпадает с выражением для коэффициента рождаемости-смертности по (12.18), (12.19) и (12.23). При $x \to \infty$ скорость роста популяции стремится к некоторому постоянному значению

$$(b-d)_\infty = r\,\frac{\beta - \alpha}{\alpha\beta}. \qquad (12.25)$$

Асимптотическое поведение населения, то есть, величина $(b-d)_\infty$ является специфичной и должна быть оценена для каждой рассматриваемой популяции. Можно полагать, что численность популяции стабилизируется, то есть становится постоянной; в этом случае мы должны положить $\beta = \alpha$.

При сформулированных условиях уравнение (12.24) обладает максимумом в точке, которая определяется как точка демографического перехода. До этой точки коэффициент рождаемости-смертности возрастает, а после точки демографического перехода падает. Ситуация иллюстрируется на рис. 12.7.

Поведение коэффициента рождаемости-смертности воспроизводит наблюдаемую в современную эпоху картину: темп роста как популяции человека в целом, так и населения отдельных стран проходит точку максимума (см., например, Капица, 1997, стр. 67, рис. 3). Однако реальные зависимости могут оказаться более сложными по сравнению с обсуждаемой аппроксимацией: рост популяции может сопровождаться не одним, как в рассмотренном примере, а несколькими демографическими переходами, которые могли происходить в более ранние периоды развития человечества.

12.2.6 *Описание катастрофических событий*

Наблюдаемая численность популяции человека, как правило, всегда меньше возможного значения, которое определяется значением благосостоянием в данный момент времени

$$N < \overline{N}\left(\frac{W}{N}\right). \tag{12.26}$$

Но что произойдёт, если случится катастрофа и внезапно все системы жизнеобеспечения исчезнут? Общественное богатство уменьшается до некоторого значения W_k, и новое значение возможной численности падает до некоторого уровня $\overline{N}_k$, который может оказаться меньше или даже много меньше, чем текущее значение численности $N(0)$, которое далее рассматриваем как начальное

$$N(0) \gg \overline{N}_k. \tag{12.27}$$

При малых временах уравнение (12.13) определяет при дальнейше развитии ситуации изменение численности популяции в виде линейного закона

$$N(t) = N(0)\left[1 + \left(1 - \frac{N(0)}{\overline{N}_k}\right) rt\right]. \tag{12.28}$$

При выполнении условия (12.27) закон уменьшения численности может быть записан в виде

$$N = N(0)\left(1 - r\frac{N(0)}{\overline{N}_k}\, t\right). \tag{12.29}$$

Записанные выше соотношения представляют закон падения численности популяции в случае мировой катастрофы. Этот закон может быть также приложим к случаям, когда элементы накопленного общественного богатства внезапно исчезают, например, к случаю осаждённого города. По какому закону вымирало население блокадного Ленинграда? При начальной численности 5 миллионов человек за два с половиной года блокады погибло по разным оценкам от 0.5 до 1.5 миллиона человек. Если допустить справедливость линейного закона, то формула (12.29) при $r = 0.0277$ определяет, что начальная численность населения $N(0)$ примерно в четыре раза превышала возможное значение численности после катастрофы $\overline{N}_k$.

12.2.7 *О пределах применимости теории*

Не ссылаясь на общественную производственную систему, невозможно, по-видимому, объяснить приспособление человека к условиям существования, что привело к увеличение популяции человека от очень маленькой группы миллион лет назад до приблизительно семи миллиардов в настоящее время. Хотя и основанные на некоторых предположениях и упрощениях, уравнения (12.8), (12.12), (12.24) могут количественно описать огромный рост человеческой популяции в прошлых столетиях и его уменьшение в случаях, когда общественное богатство исчезает.[5] Принцип наибольшего привлечения энергии (максимальной мощности) определяет общее направление развития через простой механизм эволюции: сохраняются и накапливаются вещи и идеи, которые необходимы или полезны для выживания человека.

Обсуждаемые соотношения применимы как к населению мира в целом, так и к отдельным популяциям, которые находятся на различном уровне развития. Здесь можно заметить, что числа таблицы 12.1 показывают, что глобальный темп роста популяции начал уменьшаться, начиная примерно с 1960 года, несмотря на очевидное увеличение

---

[5] Можно бы сказать, что возрастание популяции человека связано, в конце концов, с тем, что человек оказался способен анализировать свои впечатления и приспосабливать своё окружение для своей пользы. Это привело к изобретению приспособлений, позволяющих привлечь энергию к производству и создать изобилие предметов потребления. Таким образом, причинная последовательность записывается в виде цепочки: *архив знаний - использование энергии – общественное богатство – рост популяции.* Опуская промежуточные элементы цепочки, Б.М. Долгоносов (2009, глава 1) предпринял смелое исследование зависимости роста населения непосредственно от количества знаний, и рассмотрел различные сценарии развития. К сожалению, остаётся неясным, что такое количество знаний и достаточно ли одной величины для его характеристики.

общественного богатства. С первого взгляда это могло бы означать, что улучшение условий жизни теперь подходит к своему пределу, и увеличение общественного богатства в будущем не будет влиять на темп роста населения. Но возможна также и другая точка зрения: на современном этапе развития общественной производственной системы часть национального богатства W, учитываемая в статистических отчётах, не только не способствует выживаемости особей популяции, но и иногда прямо нацелена на уничтожение индивидуумов. К тому же следует принимать во внимание, что суммарное общественное богатство распределено неравномерно, как внутри локальной популяции, так и по отношению к различным локальным популяциям: истинное значение благосостояния для большинства индивидуумов оказывается много меньшим среднего значения благосостояния W/N.

Приближение, при котором популяция человека и её производственная деятельность рассматриваются при помощи переменных, относящихся к популяции в целом, является очень грубым и может привести к сомнительным следствиям. Чтобы выяснить, какие изменения теории являются обязательными для более точного описания, необходимо изучать, очевидно, хорошо описанную динамику развития отдельных популяций, что позволит представить будущее развитие, основанное на предположениях о будущем поведении человека. Возможно, что современное замедление роста подобно замедлению после аграрной революции, и необходимы какие-то изменения в организации общественного производства и распределения для того, чтобы наблюдаемое замедление сменилось подъёмом. Можно предположить, что надлежащий социальный механизм регулирования роста будет спроектирован и осуществлен.

12.3 Производство в эпоху скотоводов и земледельцев

Возвращаясь к обсуждению результатов раздела 12.1, заметим, что использованный метод, основанный на представлении о двух производственных факторах (см. функцию (12.1)), позволил при некоторых более или менее разумных предположениях описать эволюцию производственной активности человека в прошлые столетия, но около 1000 года нашей эры величина замещающей работы, одного из двух факторов, оказалась практически равной нулю (см. рис. 12.2), и для рассмотрения производственной активности человека в эпоху, предшествующую этому времени, нам следует обратиться к теории с единственным производственным фактором, которая известна как трудовая теория стоимости (см. раздел 1.3.1). Наша ближайшая задача – экстрополировать описание производственной деятельности человека от 1000 год нашей эры в глубь веков.

12.3.1 *Система уравнений однофакторной теории*

Трудовая теория стоимости предполагает (см. раздел 1.3.1), что единственным стоимость-образующим фактором является труд, который оценивается в часах работы одного индивидуума, а также может быть оценен энергетическими единицами, как описано в разделе 2.4.1. Теория определяет соотношение для глобального валового продукта

$$Y = AL \tag{12.30}$$

где A – зависящая от времени производительность труда. Выражение (12.30) можно рассматривать как редуцированное выражение второй строки соотношений (12.1) при учете определения технологического коэффициента в виде (6.30) для случая, когда замещающая работа исчезает, то-есть $P \to 0$.

Трудозатраты L определяются наличным населением

$$L = \chi N \tag{12.31}$$

с зависящим от времени коэффициентом пропорциональности. Рассматривая начальный период развития человечества, принимаем для населения (см. раздел 12.2.4)

$$\frac{dN}{dt} = rhK, \tag{12.32}$$

где K стоимость наличного производственного оборудования (основного производственного капитала); эта величина входит в величину общественного богатства W. Различие между всем общественным богатством W и его частью, участвующей в производстве в качестве основных фондов K учитывается зависящим от времени коэффициентом h. Постоянную Мальтуса $r = 0,0277$ считаем неизменной характеристикой популяции.

Динамика производственных фондов опрделяется уравнением

$$\frac{dK}{dt} = sY - \mu K \tag{12.33}$$

где s – доля валового продукта, инвестируемого в производственную деятельность; μ – коэффициент выбытия производственных фондов (и всего общественного богатства).

Производительность труда A меняется со временем; чтобы записать закон изменения, обращаемся к выражению (5.16), которое определяет уменьшение трудозатрат при изменении производственной технологии, находим

$$\frac{dA}{dt} = As(1-\overline{\lambda})\frac{Y}{K} \tag{12.34}$$

Технологический коэффициент $\overline{\lambda}$ определён соотношением (5.19), то есть выражением

$$\overline{\lambda} = \frac{\nu+\mu}{\delta+\mu}, \tag{12.35}$$

в котором темпы роста трудозатрат и основных фондов

$$\nu = \frac{1}{L}\frac{dL}{dt}, \quad \delta = \frac{1}{K}\frac{dK}{dt} \tag{12.36}$$

определяются записанными выше соотношениями (12.31)-(12.33).

Система уравнений (12.31)-(12.36) для пяти переменных Y, A, L, K и N описывает траекторию развития при заданных начальных значениях переменных и четырёх зависящих от времени параметров: $s(t)$, $h(t)$, $\chi(t)$, $\mu(t)$.

12.3.2 *Реконструкция динамики развития*

На основе сформулированной системы уравнений можно попытаться выяснить некоторые закономерности развития в годы, предшествующие эпохе интенсивного использования энергии в производстве, то-есть ранее 1000 года нашей эры. Для мирового хозяйства в эти годы предполагаем траекторию развития заданной в виде экспоненциальных функций,

$$N = N_0e^{\rho t}, \quad Y = Y_0e^{\zeta t}, \quad L = L_0e^{\nu t}, \quad K = K_0e^{\delta t}, \quad A = A_0e^{\psi t}, \tag{12.37}$$

где ноликом обозначены значения переменных в 1000 году, которые необходимо задать. Хотя для описания траекторий на больших интервалах времени иногда используют степенные функции, всё же удобнее аппроксимировать ситуацию экспоненциальными функциями, в которые непосредственно входят темпы роста переменных, выражения для которых определяется подстановкой предполагаемых функций (12.37) в уравнения (12.31)-(12.36)

$$\delta = s_0 \frac{Y_0}{K_0} - \mu_0, \quad \psi = (1-\overline{\lambda}) s_0 \frac{Y_0}{K_0}, \tag{12.38}$$
$$\zeta = \psi + \nu, \quad \nu = \rho + \frac{1}{\chi}\frac{d\chi}{dt}, \quad \rho = r h_0 \frac{K_0}{N_0}.$$

В определения темпов роста входят начальные значения параметров, при этом предположение о представлении траектории развития экспоненциальными функциями (12.37) требует определённую форму временной завимсимости параметров

$$s = s_0 e^{(\delta-\zeta)t}, \quad h = h_0 e^{(\rho-\delta)t}, \quad \chi = \chi_0 e^{(\zeta-\psi-\rho)t} = \chi_0 e^{(\nu-\rho)t}, \quad \mu = \mu_0. \tag{12.39}$$

Начальные значения всех переменных, а также начальные значения параметров предполагаются заданными. Темпы роста параметров определяются, за исключением одного, показатель $\nu - \rho$ должен быть задан.

При установлении исходных значений переменных мы обращаемся прежде всего к непосредственным наблюдениям. Мы используем известные (Maddison, 2006; DeLong, 1999) оценки численности населения и глобального валового внутреннего продукта, что определяет для 1000 года нашей эры: $N_0 = 267 \cdot 10^6$ человек, $Y_0 = 121 \cdot 10^9$ международных 1990 долларов. Для стоимости основных производственных фондов используем значение, установленное в разделе 12.1, а именно $K_0 = 1,02 \cdot 10^9$ международных 1990 долларов. Трудозотраты оценены в разделе 12.1 в энергетических единицах как $L_0 = 2,7 \cdot 10^{16}$ Дж в 1000 году. Эта оценка получена при предположении (см. раздел 12.1.2), что половина населения занята в производстве, причём каждый затрачивает на выполнение работы $4 \cdot 10^8$ Дж/год. При этом предположении для производства продукта стоимостью один доллар в 1000 году необходимо (см. раздел 12.1.2) было затратить $2,21 \cdot 10^5$ Дж. Принимая, что за один час работы человек затрачивает $4,18 \cdot 10^5$ Дж, находим значение для 1000 года $L_0 = 64 \cdot 10^9$ человеко-часов за год. Такую величину могли бы выработать 22 миллиона человек (около восьми процентов населения), работая по восемь часов ежедневно. Возможно, что мощность человеческой машины была меньше в древние времена (см. раздел 2.4.1) и оценки трудозатрат занижены. Производительность труда определяется как отношение $A = Y/L$ и равна в 1000 году нашей эры $A_0 = 4,18$ международных 1990 долларов на человек-час.

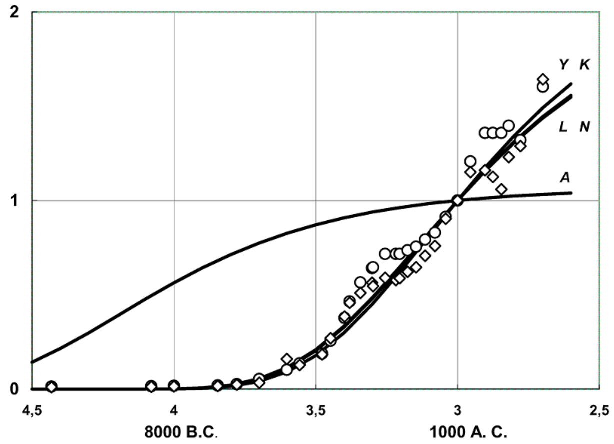

Рисунок 12.8 Траектория развития

На оси абсцисс отложены значения логарифма отдалённости времени от 2000 года. Кривые представляют относительные значения переменных, указанных символами у кривых, вычисленные по уравнениям (12.37) со значениями темпов роста определённых в тексте. По непосредственным оценкам (DeLong, 1999) кружками представлены значения численности населения, ромбиками – глобальный валовой внутренний продукт (средние значения по трём вариантам оценки).

Доступные оценки численности населения (Maddison, 2006; DeLong, 1999) позволяют, требуя приемлемое соответствие точек с экспонентой (см. рис. 12.8), установить величину темпа роста $\rho = 0,00073$ (здесь и далее темпы роста указаны в единицах *год*$^{-1}$), которая превышает оцененное в разделе 12.1.2 значение темпа роста $\rho = 0,00017$, и при сопоставлении с формулой (12.38) оценить значение параметра как $h_0 = 0,007$ человек на один доллар. Величина параметра превышает значение, оцененное в разделе 12.2.4, в несколько раз, но следует принять во внимание, что в формулу (12.18) входит стоимость производственных фондов, в отличие от формул раздела (12.2.4), где учтена стоимость всего общественного богатства. Подобным образом имеющиеся (Maddison, 2006; DeLong, 1999) оценки валового внутреннего продукта позволяют установить непосредственно величину темпа роста валового внутреннего продукта $\delta = 0,0008$, который при постоянстве доли инвестиционного продукта в валовом продукте совпадает с темпом роста основных производственных фондов. По формуле (12.38) величина δ определяется долей инвестиций в выпуске s_0, которая не может быть слишком велика из-за ограниченности коэффициента выбытия $\mu_0 < 1$. Выбранное значение $s_0 = 0,004$, при котором $\mu_0 = 0,48$, максимально близко к возможному наибольшему значению. При установлении значения темпа роста трудозатрат ν, следует учитывать (см. формулу 12.38), что технологический коэффициент $\overline{\lambda}$ не может сильно отличаться от единицы; ранее было определено значение $\overline{\lambda} = 0,97$. В результате находим: $\nu = 0,00074$, $\overline{\lambda} = 0,99987$. Установленные значения перечисленных величин позволяют по формулам (12.38) вычислить темп роста производительности труда $\psi = 0,000064$ и темп роста валового продукта $\zeta = 0,0008$. Разумеется, значения темпов роста переменных не определяются однозначно, но выбор очень ограничен при заданных значениях переменных для 1000 года, и изображенные на рис. 12.8 траектории развития представляются обоснованными. Заметим, что для начала новой эры вычисления определяют значения: $N(1) = 130 \cdot 10^6$ человек, $Y(1) = 56 \cdot 10^9$ международных 1990 долларов в отличие от чисел Маддисона (см. раздел 12.1: $N(1) = 226 \cdot 10^6$ человек, $Y(1) = 105 \cdot 10^9$ международных 1990 долларов). Траектории переменных на рис. 12.8 описывают медленную эволюцию популяции человека в течение тысячелетий после начала аграрной революции. Заметим, однако, что эти кривые не воспроизводят непосредственную оценку значений ВВП и численности популяции в 8000 году до нашей эры и ранее (см. рис. 12.8). В ту, ещё более удалённую эпоху - эпоху охотников и собирателей – развитие происходило ещё более медленно.

Производственная деятельность человека в рассматриваемую эпоху основывалось на ручном труде земледельцев, скотоводов и ремесленников. Труд был напряженным в некоторые определённые периоды, поскольку земледелие и скотоводство имели сезонный характер, но в целом труд не был изнурительным, во всяком случае, менее напряженным, чем в наши дни, при развитом капитализме (Basso, 2003). Цели и характер производственной деятельности человека в эту эпоху отличались от современных, но, как и в наше время, произведённый продукт по характеру использования можно разделить на три части: по полученным оценкам очень небольшая доля (не более 1 процента) всех усилий затрачивалась для освоения земли и пастбищ, восстановления и изготовления инструментов и приспособлений для ручного труда (инвестиции в основные производственные фонды). Остальная часть состояла из продуктов, которые непосредственно потреблялись, и продуктов, которые можно рассматривать как вложения в долгосрочные проекты: оружие для защиты и нападения, общественные сооружения (дворцы, храмы), создание системы управления, создание мифов и произведений искусства, научные исследования и пр. Изменения происходили очень медленно, но постоянно, и мы пожинаем плоды великих свершений той эпохи.

12.4 Существуют ли пределы роста?

Популяция человека прошла два этапа своего развития – эпоху охотников-собирателей и эпоху земледельцев-скотоводов - и сейчас мы живём в третьей эпохе - эпохе промышленного использования энергии. Во все времена не прекращались попытки представить картину будущего развития популяции человека, и теперь перед нами возникают естественные вопросы: когда и чем закончится наша эпоха, и что ожидать далее.

12.4.1 *Глобальный валовой продукт*

Для оценки зависимостей глобального производственного выпуска от факторов производства мы можем воспользоваться соотношением (12.1), которое определяет, что выпуск Y зависит от трудозатрат L и замещающей работы P, не упоминая слабо меняющийся технологический индекс α. Выпуск определяется, в конце концов, теми потоками энергии, которые популяции удаётся привлечь для производства (вспоминаем определения раздела 11.1.2). С началом промышленной революции, наряду с *биологически организованрым потоком энергии* L, появляется *общественно организованный поток* P, наличие которого и определило новую фазу организации производства, существующую и в наши дни.

Соотношения между производственными факторами L, P и их первоисточниками: численностью населения N и величиной полного потребления энергоносителей E не является универсальными и являются предметом внимательного изучения, что обсуждалось в разделах 2.4 и 2.5. Можно заметить, что уже в настоящее время прирост трудозатрат ограничен приростом численности населения, так что темпы роста трудозатрат совпадают с темпами роста населения,

$$L \sim N. \tag{12.40}$$

В отличие от этого, когда источники энергетических ресурсов были неисчерпанными, темпы роста замещающей работы P в развитых странах в предыдущие столетия превышали темпы роста полного потребления энергии E, что мы можем видеть на двух примерах (США, рис. 2.8 и Россия, рис. 8.5). Однако уже к середине нынешнего столетия величина замещающей работы приближается к общему количеству доступной для использования энергии. В этом случае можно ожидать, что прирост замещающей работы будет ограничен приростом полного потребления энергоносителей, так что темпы роста замещающей работы и темпы полного потребления энергоносителей будут совпадать,

$$P \sim E. \tag{12.41}$$

Соотношения (12.40) и (12.41) позволяют на основании уравнений (12.1) записать асимптотическое выражение для выпуска производственной системы в недалёком будущем, которое удобно записать, используя, как это было предложено А.А. Акаевым (2014), хорошо оцениваемые величины: доход на душу населения Y/N и душевое энергопотребления E/N

$$\frac{Y}{N} \sim \left(\frac{E}{N}\right)^{\alpha}. \tag{12.42}$$

Коэффициент пропорциональности зависит главным образом от отношения P/E и асимптотически приближается к постоянному значению. Значение технологического индекса α находится между нолем и единицей; можно видеть на рис. 12.4, что это значение равно $\alpha \approx 0.6$ в конце прошедшего столетия. При таком значении технологического индекса по соотношению (12.42) темп роста дохода на душу населения может превышать темп роста потребления энергии.

Соотношение (12.42) можно также интерпретировать как определение численности популяции человека N в зависимости от полного потребления энергии E с коэффициентом пропорциональности, который зависит от отношения Y/N

$$N \sim E \left(\frac{Y}{N}\right)^{\frac{1}{\alpha}}. \tag{12.43}$$

Можно ожидать, что ВВП на душу населения Y/N должен остаться постоянным в будущем, и тогда

$$E \sim N. \tag{12.44}$$

Это соотношение отличается от того, что мы имели в течение всего двадцатого века и ранее, когда темп роста потребления энергоносителей E превышал, по имеющимся данным, темп роста населения

$$E \sim N^2. \tag{12.45}$$

Особенностью современного периода развития является переход от изобилия энергетических ресурсов к их дефициту, что приводит к изменению способов использования энергоносителей (Акаев, 2014). Это обстоятельство может оказаться решающим при установлении характера будущего развития. Дефицит энергоносителей приведёт к обострению борьбы за доступные источники энергии.

12.4.2 *Прогнозные зависимости*

Соотношения (12.44) и (12.45) демонстрируют, что численность популяции N и общего потребление энергии E взаимосвязаны; очевидно, изменение этих величин следует обсуждать совместно, но в силу принципа развития (см. раздел 11.1.3 одинадцатой главы), потребление энергии оказывается ведущим компонентом развития, и для обсуждения будущего человеческой популяции важно иметь, прежде всего, сценарии изменения доступной энергии. Прогнозирование будущего потребления энергии было предметом многих исследований, большинство из которых демонстрируют монотонное увеличение потребляемой энергии. Например, Беляев и др. (2000) оценили требование для конечной энергии в 2100 году как $(4-6)\cdot 10^{20}$ Джоулей ежегодно, что дает, соответственно, глобальное потребление первичных энергоносителей около 10^{21} Джоулей в год. Предполагают, что потребление ископаемого топлива будет возрастать более медленно, чем суммарные энергетические потребности, и популяция будет вынуждена, по-видимому, стремиться к освоению новых источников энергии. Конечно, нельзя исключить и возможность того, что исчезающие запасы минерального топлива не смогут быть во-время замещены другими источниками энергии, что приведёт к уменьшению количества потребляемых энергоносителей. Плакиткин (2012) полагает, что спад потребления может начаться уже в середине нашего столетия.

При построении долгосрочного сценария использования доступной энергии, следует принимать во внимание, что возможности получения энергии непосредственно от Солнца существенно ограничены; предполагаемое потребление энергии в 2100 году (около 10^{21} Джоулей) приблизительно в тысячу раз меньше, чем количество энергии, полученной Землей от Солнца, которое равно примерно $3\cdot 10^{24}$ Джоулей ежегодно. Популяция человека будет вынуждена обращаться к использованию атомной (ядерной) энергии и стремиться к освоению новых энергетических источников. Возможные сценарии роста доступной энергии представлены на рис. 12.9.

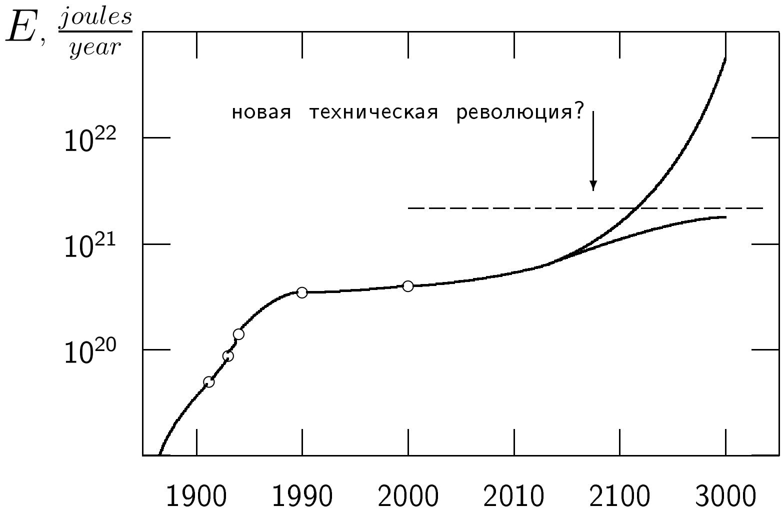

Рисунок 12.9 Доступность энергии: будущее

Пунктирной чертой отмечено гипотетическое предельное значение используемой энергии, которое может быть получено непосредственно от Солнца.

Будущая численность населения Земли оценивалась независимо многими исследователями. Большинство современных оценок дают близкие значения: 10-12 миллиардов к 2100 году (Беляев и др. 2000), хотя некоторые модели (Акаев и др. 2013) предполагают уменьшение численности населения с середины нашего столетия. Рост численности населения Земли, соответствующий, по соотношения (12.45), описанным сценариям роста доступной энергии представлен на рис. 12.10.

В случае ограничения доступности энергии численность популяции человека и глобальный выпуск продукции будет приближаться к постоянным значениям, и будет реализован случай устойчивого стационарного состояния (sustainable development). В другом случае, когда широко будет использоваться атомная и ядерная энергия, а так же возможно будут найдены другие источники энергии, рост не остановится, и будет иметь непредсказуемые последствия. Однако может оказаться, что недостаток доступной энергии ограничит амбициозные проекты людей.

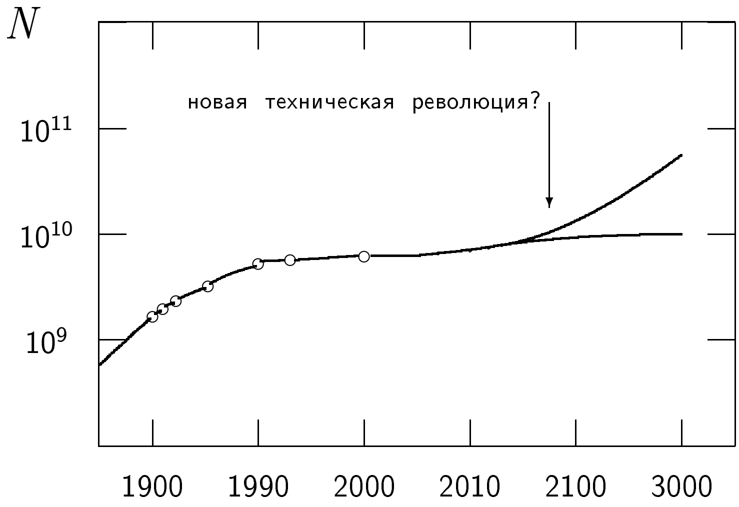

Рисунок 12.10 Рост населения Земли: будущее
Нижняя кривая до 2100 года соответствует оценкам Беляева и др. (2000).

12.5 Заключительные замечания

Современный мир представляет собой совокупность национальных или многонациональных государств с очень разнообразными уровнями развития и разнообразными общественными устройствами. Но в наши дни страны и области мира интенсивно взаимодействуют друг с другом через потоки товаров, капитала, денег, рабочей силы; сираны связаны потоками научного знания, тесными культурными и другими контактами. Производственная деятельность организована в мировом масштабе, и мир в целом следует рассматривать не только как простую совокупность национальных государств, а сложную развивающуюся систему (Wallerstein, 2004), что даёт основание использовать бесструктурное приближениу для описания развития производтвенной системы. Рассматривая глобальную динамику в целом, без определения каких либо структурных переменных (бесструктурное приближение), мы могли проследить основные тенденции развития производства и их взаимодействие с демографическими процессами: рост населения приводит к появлению дополнительной рабочей силы, как было описано в разделе 2.4.2, определяя этим дополнительную возможность экономического роста при данной технологии; с другой стороны, прирост населения связан с лучшими условиями человеческого существования, то есть, в конечном счете, с результатами экономической деятельности, которая, в свою очередь, требует трудозатрат и других факторов производства. Использование агрегированных значений позволяет убедиться, что прогресс в развитии популяции следует связать с привлечением сторонней энергии для использованием в производственных процессах.

Для получения более детальной картины развития следует, конечно, учётывать неоднородности развития популяции человека по континентам и странам, а также неоднородности по распределению богатства в каждом обществе, и рссматривать механизм и детали функционирования производственных систем (Wallerstein, 2004).

Литература

Акаев А.А. (2014) От эпохи ВЕЛИКОЙ ДИВЕРГЕНЦИИ к эпохе ВЕЛИКОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ:Математическое моделирование и прогнозирование долгосрочного технологического и экономического развития мировой динамики Москва, Книжный дом URSS: Ленанд.

Беляев Л.С., Марченко О.В., Филиппов С.П., Соломин С.В., Степанова Т.Б., Кокорин А.Л. (2000) Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию. - Новосибирск : Наука. Имеется перевод: Belyaev, L.S., Marchenko, O.V., Filippov, S.P., Solomin, S.V., Stepanova, T.B., Kokorin, A.L. World energy and transition to sustainable development, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.

Валлон А. (1936) История рабства в античном мире. Греция. Соцэкгиз, Москва. Перевод с французского: H.Wallon, Histoire de l'esclavage dans l'antiquité. Tome premier, Deuxiéme édition, Paris, 1879.

Гринин Л. Е. (2006) Периодизация истории: теоретико-математический анализ. В: История и Математика. Проблемы периодизации исторических макропроцессов / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков. М.: КомКнига/URSS, 2006. С. 53-79.

Долгоносов Б.М. (2009) Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов. Отв. ред. М. Г. Хубларян; Предисл. Г. Г. Малинецкого. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ . - 440 с.

Капица С.П. (1996) Феноменологическая теория роста населения Земли. Успехи физических наук, том 166(1), стр. 63 - 80.

Клёсов А.А., Тюняев А.А. (2010) Происхождение человека: по данным археологии, антропологии и ДНК-геологии. Белые альвы, Бостон-Москва

Коротаев А.В., Малков А.С. и Халтурина Д.А. (2005) Компактная математическая макромодель технико-экономического и демографического развития Мир-Системы (1-1973 гг.). В: История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики / Ред. С. Ю. Малков и А. В. Коротаев, с. 6-48. М.: УРСС.

Массон В.М. (1976) Экономика и социальный строй древних обществ (в свете данных археологии). Наука, Ленинград.

Плакиткин Ю.А. (2012) Мировое развитие и закономерности глобальной энергетики. Вестник Российской Академии Естественных Наук 2012/3 3-10.

Цирель С.В. (2003) О феноменологической теории роста населения Земли С.П. Капицы. Демоскор Weekly, № 139 - 140, 15 - 31 декабря 2003. http://www.demoscope.ru/weekly/2003/0139/analit02.php

Шишков Ю.В. (2005) Демографические похождения физика. Общественные науки и современность № 2. с. 156-161. Текст можно найти на http://www.avmol51.narod.ru/Shishkov/d.htm

Шкловский И.С. (1987) Вселенная, жизнь, разум / Под ред. Н. С. Кардашева и В. И. Мороза, 6-е изд., доп.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.

Юрковец В.П. (2015) Климатическая катастрофа гаплогруппы "Бета"Вестник Академии ДНК-генеалогии Volume 8, No. 3, 376-432

Юрковец В.П., Василенко С.И. (2017) ДНК-генеалогия, палеоклимат и геоморфология Гидродинамический карст Вестник Академии ДНК-генеалогии Volume 10, No. 3 1412-1442

Basso Pietro (2003) Modern Times, Ancient Hours: Working Lives in the Twenty-First Century. Verso, 2003.

Berna F., Goldberg P., Horwitz L.K., Brink J., Holt S., Bamford M. and Chazan M. (2012) Microstratigraphic evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa. Proc Natl Acad Sci U S A. 2012 May 15;109(20):E1215-20. Epub 2012 Apr 2.

BP Statistical Review of World Energy (2012) http://www.bp.com/statisticalreview

Carr-Saunders A.M. (1936) World Population: Past Growth and Present Trends. Oxford University Press, London.

Clark C. (1968) Population Growth and Land Use. Macmillan, London *etc.*

DeLong J.B. (1999) Estimating World GDP: One Million B.C. - Present http://www.j-bradford-delong.net/TCEH/2000/World_GDP/Estimating_World_GDP.html

Durand J.D. (1977) Historical estimates of World population: An evaluation. Population and Development Review 3(3): 253-269.

Leakey R.E. (1981) The Making of Mankind. Elsevier-Dutton Publishing Company, Inc.

Lo Cascio E., Malanima P. (2009) GDP in pre-modern agrarian economies (1-1820 A.D.): A revision of the estimates. Rivista di Storia Economica, n.s., 25, 391-419.

Lotka A.J. (1925) Elements of Physical Biology. Williams and Wilkins, Baltimore.

Maddison A. (2006) The World Economy. Volume 1: A Millennial Perspective and Volume 2: Historical Statistics. Published by: OECD Publishing, Publication date: 21 Sep 2006. The data available in Excell format: http://www.ggdc.net/MADDISON/oriindex.htm

Maltus T.R. (1798) An Essay on the Principles of Population, as it Affects the Future Improvement of Society. J. Johnson, London.

Mithen S. and Reed M. (2002) Stepping out: a computer simulation of hominid dispersal from Africa. Journal of Human Evolution 43: 433-462.

Murray J.D. (1989) Mathematical Biology. Springer-Verlag, Berlin *etc.*

Pearl R. (1927) The growth of population. Quart. Rev. Biol. 2: 532 - 548.

Pokrovski V.N. (1999) Physical Principles in the Theory of Economic Growth. Ashgate Publishing, Aldershot.

Sauvy A. (1969) General Theory of Population. Translated from the French edition (Paris, 1966) by Christophe Campos. Basic Books, New York. Перевод: Сови А Общая теория населения. Прогресс, Москва, 1977.

Smil V. (2010) Energy Transitions: History, Requirements and Prospects. Publisher: Praeger.

Verhulst P.F. (1838) Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Corr. Math. et Phys. 10: 113 - 121.

Volterra V. (1931) Lesons sur la mathematique de la lutte pour la vie. Marcel Brelot, Paris.