

Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2007. *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура*. М.: КомКнига/URSS. С. 136–145.

Глава 12

Микроуровневый хаос и высокодетерминированная макроуровневая динамика

Как мы могли видеть, приведенные выше системы из 2–3 дифференциальных уравнений способны объяснить 96,2–99,78 % всей демографической, технико-экономической и культурной (образовательной) макродинамики мира за последние 25.000 лет. Обнаруженные закономерности могут служить прекрасной иллюстрацией известного синергетического принципа, сформулированного Д. С. Чернавским: хаотическая динамика на микроуровне генерирует высокодетерминированное системное поведение на макроуровне (Чернавский 2004).

Чтобы описать поведение нескольких молекул газа в замкнутом сосуде нам потребуются крайне сложные математические модели, которые все равно не смогут достаточно точно предсказать состояние системы уже через секунду после начала эксперимента из-за неустранимого хаотического компонента. Вместе с тем, поведение многих триллионов таких молекул может быть описано при помощи крайне простых уравнений, способных в высшей степени точно предсказать макродинамику всех основных базовых параметров (и именно из-за хаотического поведения, наблюдаемого на микроуровне).

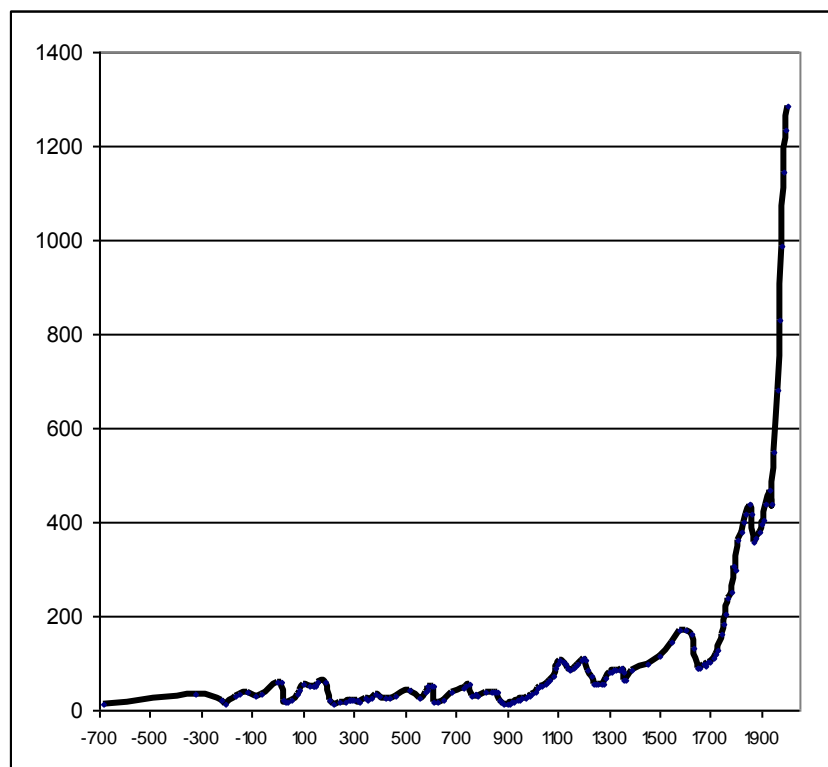
По всей видимости, с аналогичным набором закономерностей мы сталкиваемся и в мире людей. Для того чтобы предсказать демографическое поведение отдельной семьи нам потребовались бы крайне сложные математические модели, которые смогли бы предсказать лишь очень небольшой процент актуальной вариации, и именно из-за неустранимого хаотического компонента. Для математического описания поведения систем, включающих в себя на порядки большее число людей – городов, государств, цивилизаций – нам потребовались бы заметно более простые модели, обладающие, тем не менее, заметно более высокой предиктивной способностью. В свете сказанного вряд ли неожиданным представляется то обстоятельство, что наиболее простые закономерности, объясняющие исключительно высокий процент всей макровариации, обнаруживаются как раз на уровне социальной системы, самой большой из всех принципи-

ально возможных – на уровне мира людей в целом, на уровне Мир-Системы.

Итак, мы столкнулись с исключительно высокодетерминированным поведением как раз на уровне Мир-Системы. Имеются основания полагать, что оно в высокой степени является порождением именно микродинамического хаоса.

Рассмотрим, например, долгосрочную динамику населения страны с лучше всего документированной демографической историей, Китая.¹ Выглядит она следующим образом (см. Диаграмму 12.1):

Диаграмма 12.1. Демографическая динамика Китая
(700 г. до н.э. – 2003 г. н.э., в миллионах чел.)



ПРИМЕЧАНИЕ. Диаграмма составлена на основании следующих источников: Чжао, Си 1988; Мельянцеv 1996; Нефедов 2003; Bielenstein 1947, 1986; Durand 1960; Ho 1959; Lee

¹ Более подробный обзор исторической демографии Китая будет дан во второй части *Законов истории* (Коротаев, Комарова, Халтурина 2007).

1921; Nefedov 2004; U.S. Bureau of the Census 2006; подробнее см. следующую часть *Законов истории* (Коротаев, Комарова, Халтурина 2007).

При первом взгляде на диаграмму в глаза бросается, прежде всего, серия демографических циклов с ярко выраженной хаотической компонентой (подробнее о демографических циклах см. следующую часть *Законов истории* [Коротаев, Комарова, Халтурина 2007]). Аналогичным образом, долгосрочная демографическая динамика выглядит и для других стран и регионов мира (см., например, Неведов 2003 и следующую часть *Законов истории* [Коротаев, Комарова, Халтурина 2007]). Почему же в демографической динамике мир-системы хаотическая и циклическая компоненты выражены столь слабо? Объяснение здесь очень простое. Возьмем, например, I в. н.э. Во второй декаде этого века в Китае происходит катастрофический демографический коллапс (см., например, Bielenstein 1986). Почему он столь слабо отразился на демографической динамике мир-системы?

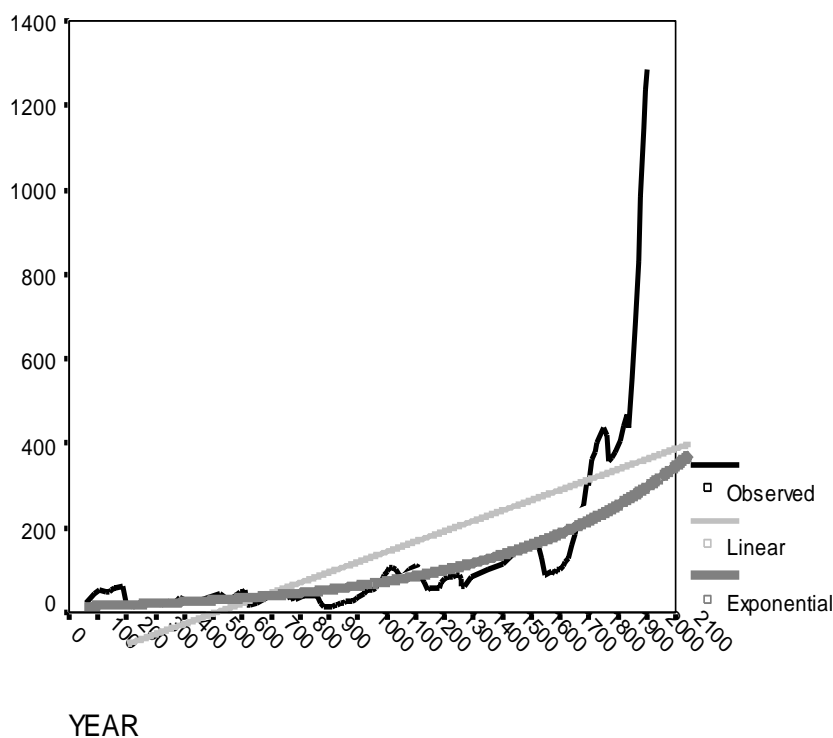
Дело в том, что в то же самое время население интенсивно растет в Средиземноморье, в высокой степени компенсируя убыль населения в Китае (см., например: Turchin 2003). С другой стороны, во второй половине VI в. интенсивный рост населения Китая будет в высокой степени компенсировать сокращение населения в Средиземноморье. В результате для I тысячелетия мы наблюдаем следующую картину: население различных регионов мир-системы проходит через серию демографических циклов, флуктуируя около крайне медленно повышающегося потолка несущей способности земли. В результате, в каждый данный момент времени мы обнаружим некоторое число мир-системных популяций, превысивших потолок региональной несущей способности, находящихся в преддверии демографического коллапса; другая часть будет находиться ниже потолка несущей способности, в состоянии восстановительного роста, и т.д. В результате в каждый данный момент демографической истории Мир-Системы (по крайней мере, до выхода заметной части ее населения во вторую фазу демографического перехода) население мир-системы будет с очень высокой вероятностью иметь численность, приблизительно соответствующую наблюдаемому на данный момент значению потолка несущей способности Земли, а значит и близкую значению, предсказанному макромоделями.

Отметим, что при всей внешней хаотичности, историческая динамика Китая имеет необычно высоко детерминированный характер. Хотя высказывалось мнение о том, что гиперболическая тенденция роста прослеживается только на уровне мир-системы в целом, но не на уровне отдельных стран, для Китая эта тенденция прослеживается в высшей степени определенно.

Действительно, проанализируем, какая общая тенденция роста прослеживается в демографической истории Китая на фоне общей циклической динамики.

Линейная регрессия дает здесь статистически значимую ($\alpha < 0,001$), но довольно слабую корреляцию ($R^2 = 0,398$).² Экспоненциальная регрессия дает здесь заметно более высокую корреляцию ($R^2 = 0,685$, $\alpha < 0,001$), см. Диаграмму 12.2:

Диаграмма 12.2. Оценки кривой тренда исторической демографии Китая, 57 – 2003 гг. н.э. (линейная и экспоненциальная модели), млн. чел.



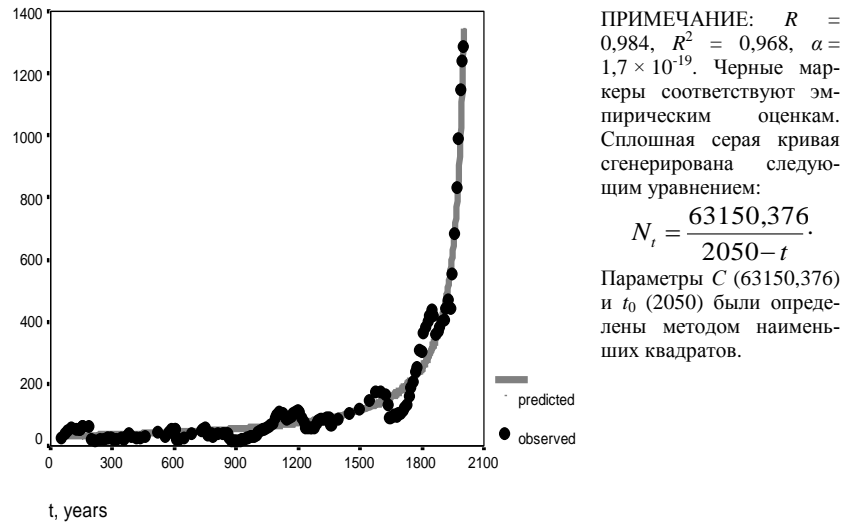
Однако даже самая простая модель гиперболического роста³ дает

² Все регрессионные анализы (как для индустриального, так и для доиндустриального периодов) проводились с началом в 57 г. н.э.

³ $r_i = r_{i-1}N_i/N_{i-1}$, где r_i это относительный рост населения в год i ; r_{i-1} это относительный рост населения в год в предшествующем году; N_i – численность населения в начале года i , а N_{i-1} – численность населения в начале предшествующего года.

несравненно более высокую корреляцию между данными, предсказанными моделью, и наблюдаемыми данными ($R^2 = 0,968$, $\alpha \ll 0,0001^4$), см. Диаграмму 12.3:

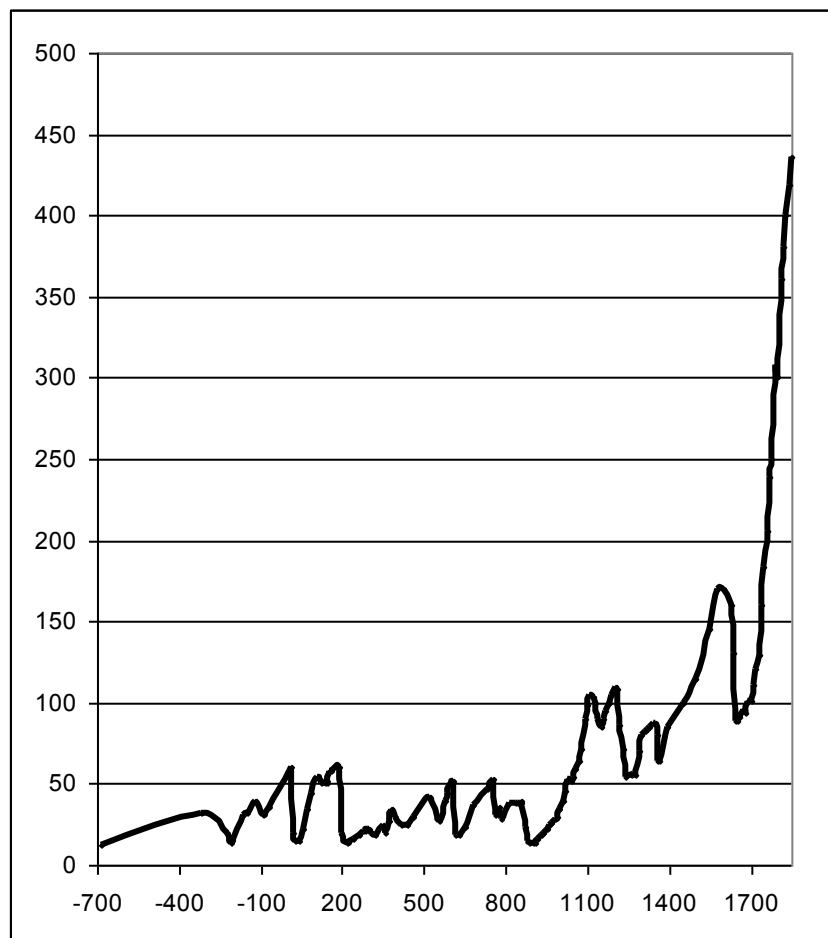
Диаграмма 12.3. Популяционная динамика Китая (57–2003 гг. н.э.), корреляция между наблюдаемыми значениями (черные маркеры) и значениями, предсказанными моделью гиперболического роста (сплошная серая линия), в млн. чел.



Данный тренд, конечно же, особенно ощутим, если мы рассматриваем демографическую историю Китая на всем его протяжении (т.е. включая и современный период). Однако, если мы даже будем рассматривать только досовременную историю Китая (до 1852 г., т.е. года реального начала Тайпинского восстания), мы сможем обнаружить гиперболическую тенденцию роста и на этом участке китайской демографической истории (см. Диаграммы 12.4 и 12.5):

⁴ Собственно говоря, если быть более точными, статистическая значимость корреляции достигает в этом случае астрономического уровня: $1,67 \times 10^{-19}$.

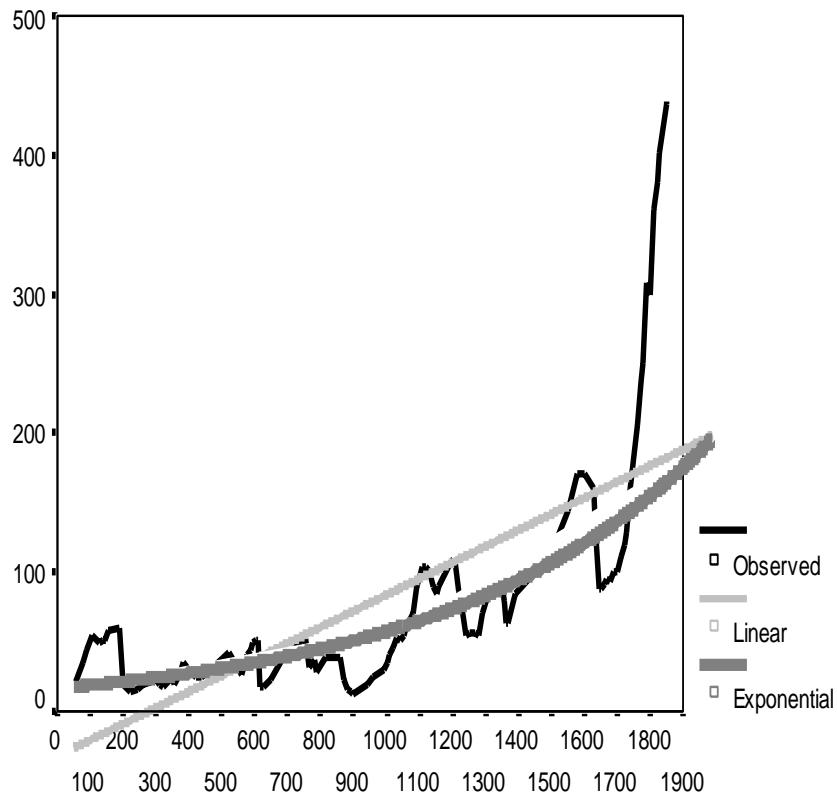
Диаграмма 12.4. Популяционная динамика досовременного Китая (700 г. до н.э. – 1851 г. н.э., млн. чел.)



С каким типом тренда мы имеем дело в этом случае? И на этот раз линейная регрессия дает статистически значимые результаты ($R^2 = 0,469$, $\alpha < 0,001$).⁵ Экспоненциальная регрессия снова дает еще более сильную корреляцию ($R^2 = 0,600$, $\alpha < 0,001$), см. Диаграмму 12.5:

⁵ Для 57–1851 гг. н.э.

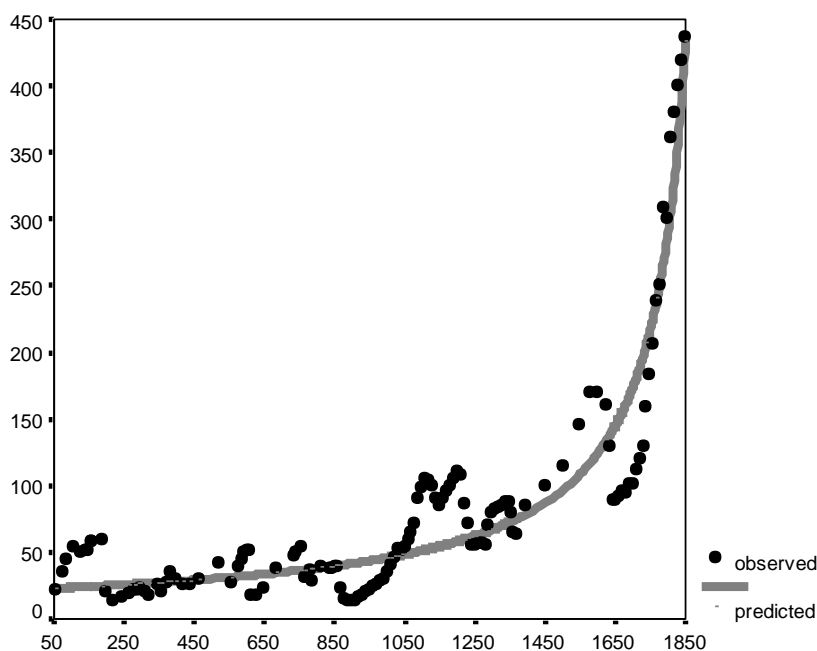
Диаграмма 12.5. Популяционная динамика досовременного Китая (57 – 1851 гг. н.э., в млн. чел.), оценки кривой тренда



YEAR

Однако и на этот раз даже самая простая модель гиперболического роста дает несравненно более высокую корреляцию между данными, предсказанными моделью, и наблюдаемыми данными ($R^2 = 0,968$, $\alpha \ll 0,001$), см. Диаграмму 12.6:

Диаграмма 12.6. Популяционная динамика досовременного Китая (57 – 1851 г. н.э., в млн. чел.), корреляция между наблюдаемыми значениями (черные маркеры) и значениями, предсказанными моделью гиперболического роста (сплошная серая линия)



ПРИМЕЧАНИЕ: $R = 0,94$, $R^2 = 0,884$, $\alpha = 2,8 \times 10^{-19}$. Черные маркеры соответствуют эмпирическим оценкам. Сплошная серая кривая сгенерирована следующим уравнением:

$$N_t = \frac{33430,518}{1915 - t}$$

Параметры C (33430,518) и t_0 (1915) были определены методом наименьших квадратов.

Итак, историческая демография Китая может рассматриваться в качестве особо высоко детерминированной, в том отношении, что законы ее динамики наиболее близки к высокодетерминированным паттернам эволюции мир-системы.

Здесь мы, однако, сталкиваемся со случаем, когда применимым оказывается другой из сформулированных в начале данной главы принципов – детерминированное поведение на микроуровне будет генерировать на макроуровне именно хаотическую динамику. Примечательным представляется то обстоятельство, что именно наиболее упорядоченная динамика региональной системы Китая и была одним из главных источников хаоса на мир-системном макроуровне. Вернемся к приведенной в третьей главе Диаграмме 3.3. Отметим, например, что для 1100 г. заметное превышение наблюдаемого значения над значением, предсказанным компактной макромоделью, объясняется, прежде всего, результатами "зеленой революции" в сунском Китае (см., например: Вгау 1984 и вторую часть *Законов истории* [Коротаяев, Комарова, Халтурина 2007]), которая в течение полувека привела к расширению экологической ниши в Китае приблизительно в два раза и к соответствующему росту населения Китая. Население Китая уже до начала сунской Зеленой революции составляло более 20% населения Земли. В результате же этой технологической революции население Китая стало составлять более 30% мирового. В результате, стремительный рост населения Китая означал очень заметное (на порядка 20%) увеличение населения всей Земли за исторически очень короткий период. Сунская зеленая революция была подготовлена всем предыдущим развитием Китая, и в рамках эволюции социальной системы Китая может рассматриваться в качестве события, в очень высокой степени детерминированного (подробнее об этом см. во второй части *Законов истории* [Коротаяев, Комарова, Халтурина 2007]). Однако на макроуровне мир-системы это событие привело к очень заметному отклонению наблюдаемой на конец XI в. численности населения мира от значения, предсказанного компактной макромоделью.

Еще раз вернемся к Диаграмме 3.3. В 1650–1962 гг. наиболее значимое отклонение от кривой гиперболического роста приходится вовсе не на (как, казалось бы, следовало ожидать) годы двух мировых войн, а на 1850–1870 гг. И связано оно с Тайпинским восстанием, запустившим в Китае механизм демографического коллапса, в результате которого по некоторым подсчетам число погибших (не столько даже насильственной смертью, сколько от сопровождавших демографический коллапс катастрофических наводнений, голодовок, эпидемий и т.д.) достигло астрономической цифры в 118 миллионов человек (Huang 2002: 528), которая не смогла быть адекватно компенсирована даже ускоряющимися темпами роста населения во всех остальных частях мир-системы.

Подчеркнем, что данный политико-демографический коллапс был высокодетерминированным событием, подготовленным всей предыдущей эволюцией цинского Китая (см., например: Kuhn 1978; Mann Jones and Kuhn 1978), и, кстати, неплохо поддающимся математическому моделированию (см., например: Нефедов 2003; Nefedov 2004; Turchin 2003 и следующую часть *Законов истории* [Кортаев, Комарова, Халтурина 2007])⁶, однако именно высокодетерминированная популяционная динамика цинского Китая и привела к наиболее сильному хаотическому (с точки зрения логики эволюции Мир-Системы) возмущению, фиксируемому на мир-системном макроуровне.

⁶ Подробнее см. следующую часть *Законов истории* (Кортаев, Комарова, Халтурина 2007).