

Источник: Коротаяев А.В., Халтурина Д.А., Малков А.С., Божевольнов Ю.В., Кобзева С.В., Зинькина Ю.В. *Законы истории: Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития.* Изд.3, суц. перераб. и доп. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2010. С. 75–83.

Глава 2

Математическое моделирование взаимодействия центра и периферии Мир-Системы

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИР-СИСТЕМЫ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЦЕНТРА И ПЕРИФЕРИИ

Описание модели

В двухкомпонентной модели мир был разделен на центр и периферию. В центр вошли государства ОЭСР с высоким уровнем дохода на душу населения (такие, как страны Западной Европы, США, Япония и т.д.). Периферия – все остальные страны (кроме постсоциалистических стран Восточной Европы и бывшего Советского Союза).

На первой стадии была сделана попытка проверить описанную во *Введеннии* модель (0.20)-(0.14)-(0.18) на каждом из двух выбранных регионов отдельно. Такой подход не дал осмысленных результатов: население периферии в 1820 г. в четыре раза превышало население ядра, а S ядра менее чем в два раза превышало S периферии, уравнение роста ВВП и технологии (0.14) быстро ускоряло рост ВВП на периферии. Более того, ясно, что показатели двух выбранных регионов каким-то образом взаимосвязаны, т.е. уравнения однокомпонентной модели могут быть справедливыми для «собственных» параметров одного региона, но не для добавок, «индуцированных» другим регионом.

На второй стадии было выдвинуто предположение о том, что при определенных условиях *периферия может «догнать» центр* за счет диффузии разработанных в центре технологий (реально осуществляющейся вместе с диффузией капитала). Данное явление, конечно, нельзя рассматривать «однополярно»: диффузия технологий и капиталов на периферию становится возможной как при экономической выгоде центра (связанной с уменьшением затрат), так и при появлении на периферии достаточного количества грамотной рабочей силы. Количественная характеристика «силы сближения» была выбрана такой:

$$C = \frac{S_c - S_p}{S_c + S_p} \cdot L_p.$$

В соответствии с соображениями, высказанными во *Введении*, в предлагаемой модели был учтен *фактор ресурсных и фундаментальных ограничений* (о необходимости учета таких ограничений в подобных моделях см. также: Акаев 2010б; Акаев, Садовничий 2010).

Необходимо отметить, что точность математического описания макродинамики Мир-Системы рассматриваемой моделью заметно возрастает (в особенности для последних десятилетий), если мы закладываем в модель запаздывание между ростом грамотности и ускорением темпов экономического роста на 25–30 лет¹. Это неудивительно, так как грамотность в использованных нами базах данных (прежде всего в базах данных ЮНЕ-СКО) обычно исчисляется как процент грамотных среди лиц возрастной группы 15 лет и старше. Поэтому прирост доли грамотных (идуший в последнее время почти исключительно за счет стран третьего мира) в последние десятилетия происходит каждый данный год прежде всего за счет прироста доли грамотных 15-летних (в связи с постепенным ростом охвата начальным образованием доли лиц соответствующей возрастной когорты).

Однако рост процента грамотных лиц 15-летнего возраста не ведет к сколько-нибудь значимому увеличению темпов экономического роста, поскольку даже в современных развивающихся странах большинство грамотных 15-летних не идут на производство, а продолжают образование (а если и идут на производство, то, как правило, занимаются самым неквалифицированным трудом, где полученные ими навыки грамотности ни к какому существенному росту производительности труда не приводят). Полностью эффект выросшего уровня образованности данной возрастной когорты сказывается только через 25–30 лет, после достижения ее представителями максимального уровня своей профессиональной квалификации².

Итак, в модель были введены следующие *запаздывания*: 30 лет между ростом грамотности и связанным с этим ростом ВВП на душу населения, 10 лет между ростом грамотности и соответствующим замедлением темпов роста численности населения.

С конца XIX века во временных рядах (в особенности для темпов экономического роста) очень хорошо прослеживаются волны Кондратьева³.

¹ Например, через использование разностных уравнений вида $S_{t+1} = S_t + kL_{t-30}S_t$.

² По сходным причинам уровень соответствия теоретических кривых эмпирическим оценкам также несколько возрастает при допущении некоторого (порядка 5–10 лет) запаздывания между ростом грамотности и снижением темпов роста населения.

³ Отметим, что, как мы уже отмечали во *Введении*, отсутствие кондратьевских волн в мировой экономической динамике до 1870 г. отнюдь не случайно и объясняется не просто недо-

В модель было внешним образом введено кондратьевское поведение с периодом 46 лет, динамика волн такова, что понижительные фазы приходятся на периоды с 1918 по 1941 гг., с 1964 по 1987 гг., повышательные – с 1895 по 1918 гг., с 1941 по 1964 гг., с 1987 по 2010 гг.

В качестве формализации всего вышесказанного предлагаются следующие математические уравнения. Пусть

- N_c – население в центре, тыс. чел.
- S_c – «избыточный» ВВП на душу населения в центре,
- L_c – доля грамотного населения в центре,
- N_p – население на периферии,
- S_p – «избыточный» ВВП на душу населения на периферии,
- L_p – доля грамотного населения на периферии,

и система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_c(t)}{dt} = a_c N_c(t) S_c(t) (1 - L_c(t-10)) + \tilde{a} N_p(t) C(t) \\ \frac{dS_c(t)}{dt} = b_c S_c(t) L_c(t-30) \left(1 - \frac{G(t)}{G_{\text{lim}}} \right) K(t) \\ \frac{dL_c(t)}{dt} = c_c L_c(t) S_c(t) (1 - L_c(t)) K(t) \\ \frac{dN_p(t)}{dt} = a_p N_p(t) S_p(t) (1 - L_p(t-10)) \\ \frac{dS_p(t)}{dt} = b_p S_p(t) L_p(t-30) \left(1 - \frac{G(t)}{G_{\text{lim}}} \right) K(t) + \tilde{b} S_c(t) C(t) \\ \frac{dL_p(t)}{dt} = c_p L_p(t) S_p(t) (1 - L_p(t)) K(t) + \tilde{a} L_c(t) C(t) \end{cases}$$

$G = N_c S_c + N_p S_p$ – общемировой ВВП, тыс. долларов⁴

$C = \frac{S_c - S_p}{S_c + S_p} \cdot L_p$ – «коэффициент сближения», величина, описывающая взаимодействие двух компонент системы,

$G_{\text{lim}} = 400$ триллионов долларов – фундаментальное ограничение.

$K(t)$ – кондратьевская динамика

статочным числом точек данных (кондратьевские волны в динамике мирового ВВП до 1870 г. не прослеживаются и при увеличении числа точек данных), а целым рядом вполне серьезных объективных обстоятельств (см. Экскурс 2 предыдущей книги *Законов истории* [Корогаев, Халтурина, Божевольнов 2010: 188–227]).

⁴ Вслед за А. Мэддисоном (Maddison 1995, 2001, 2003, 2010) расчеты здесь и далее ведутся в международных долларах 1990 г. в паритетах покупательной способности.

В Табл. 2.1 приведены значения коэффициентов уравнений и начальные данные:

Табл. 2.1. Значения коэффициентов уравнений, начальные данные

Центр		Периферия		«Коэффициент сближения»					
a_c	$2,1 \cdot 10^{-5}$	N_c	$1,6 \cdot 10^5$	a_p	$3,3 \cdot 10^{-5}$	N_p	$9,0 \cdot 10^5$	\tilde{a}	$4,0 \cdot 10^{-4}$
b_c	$2,7 \cdot 10^{-2}$	S_c	580	b_p	$3,7 \cdot 10^{-2}$	S_p	120	\tilde{b}	$4,0 \cdot 10^{-3}$
c_c	$1,4 \cdot 10^{-5}$	L_c	0,42	c_p	$5,0 \cdot 10^{-6}$	L_p	0,10	\tilde{c}	$1,0 \cdot 10^{-8}$

Слагаемое $\tilde{a}N_pC$ описывает миграцию из периферии в ядро, миграцией из ядра в периферию пренебрежем, убытием населения из периферии за счет миграции также пренебрежем. Мы считаем, что объем миграции пропорционален грамотному населению периферии и разнице ВВП на душу населения центра и периферии (переезжают преимущественно грамотные в поисках лучшей жизни).

Слагаемое $\tilde{b}S_cC$ описывает диффузию технологий и капитала на периферию. Считаем, что капитал и технологии начинают активно перетекать только при достаточном уровне грамотности взаимодействующих регионов (в связи с этим в C входит L_p), а также при достаточном разрыве ВВП на душу населения S между регионами.

Слагаемое $\tilde{c}LN_pC$ описывает диффузию грамотности в периферию.

Вторые уравнения системы (динамика S) требуют отдельной дискуссии. Уравнение М. Кремера – Ч. Джоунса имеет вид

$$\frac{dT}{dt} = bNT \quad .$$

Оно описывает динамику развития технологий. М. Кремер и Ч. Джоунс предполагали, что относительные темпы роста технологии пропорциональны населению – чем больше людей, тем больше изобретателей (Kremer 1993; Jones 1995, 2003, 2005). При этом нужно учесть, что М. Кремер и Ч. Джоунс неявно предполагают суммирование изобретений, то есть большее число людей не просто производит большее количество инноваций, но большее количество взаимодополняющих (а не взаимоповторяющихся) инноваций. Это возможно только в том случае, если эта масса людей представляет собой связанную систему. М. Кремер и Ч. Джоунс рассматривали уравнение для Мир-Системы и утверждали, что уравнение не будет работать для ее частей.

Действительно, как мы видели выше, периферия, имея гораздо большее население, совсем не производила больше инноваций по сравнению с ядром. Наряду с прочим, это было связано и с тем обстоятельством, что периферия не была целостной системой и не «суммировала» свои инновации: изобретения, сделанные в Африке, не развивали инновации, сделан-

ные в Латинской Америке, и не улучшали в итоге уровень жизни в Юго-Восточной Азии.

В связи с этим мы предложили альтернативное уравнение для роста технологии, которая в нашей модели ассоциирована с S :

$$\frac{dS}{dt} = bSL.$$

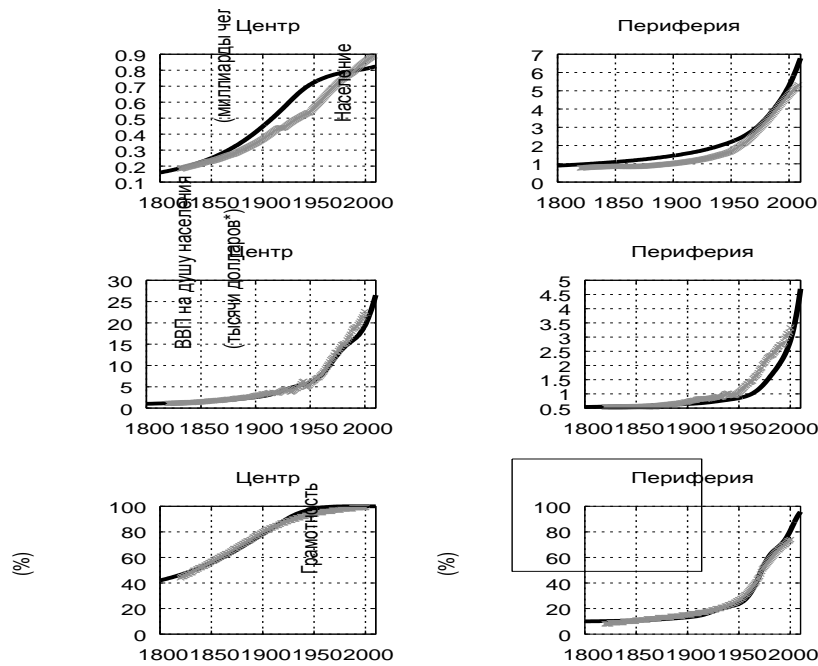
Темпы роста технологии (и ВВП на душу населения) пропорциональны уровню грамотности. То есть мы предполагаем, что именно грамотность обеспечивает аддитивность создаваемых инноваций.

С точки зрения исходной однокомпонентной модели развития Мир-Системы, замена N на L в уравнении не «портит» динамику, поскольку, как мы видели выше, N пропорционально L практически на всем диапазоне демографического перехода.

Ретроспективный численный расчет с 1800 по 2010 г.

На Рис. 2.1 представлены результаты численного расчета на временном отрезке с 1800 по 2010 г.

Рис. 2.1. Параметры порядка. Эмпирические и теоретические кривые



*Постоянные международные доллары 1990 г. в ППС. Здесь и далее: черные кривые – численный расчет, серые отметки – исторические данные.

На Рис. 2.2 представлен разрыв между центром и периферией по показателю ВВП на душу населения. На Рис. 2.3 представлены темпы экономического роста центра и периферии.

Рис. 2.2. Разрыв между центром и периферией по показателю ВВП на душу населения

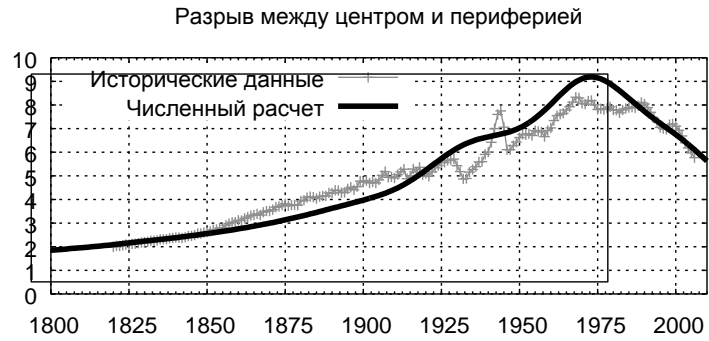
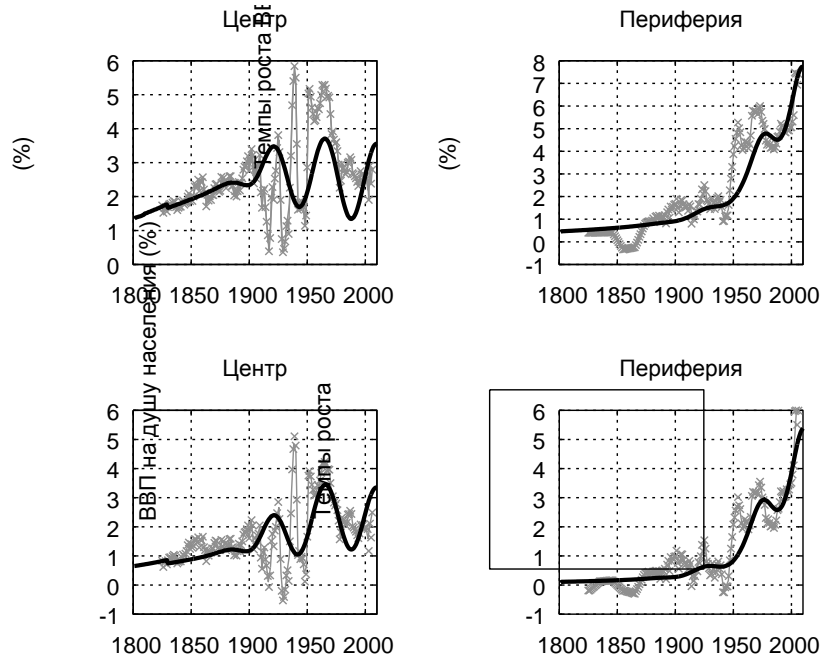


Рис 2.3. Показатели темпов экономического роста. Эмпирические и теоретические кривые



ПРОГНОЗ

Проверка модели на исторических данных показала, что с достаточной точностью описаны основные тенденции, связывающие такие показатели, как численность населения, ВВП и грамотность. Этот результат позволяет авторам использовать модель *не только в ретроспективе, но и для прогноза*. Горизонт прогноза выбран неслучайно: полвека – это характерный масштаб времени для выбранных переменных.

Прогноз построен на основе модели, скорректированной на последней кондратьевской волне. Основные экономические показатели представлены на Рис. 2.4–2.6.

Рис. 2.4. Разрыв между центром и периферией по показателю ВВП на душу населения. Прогноз до 2050 г.

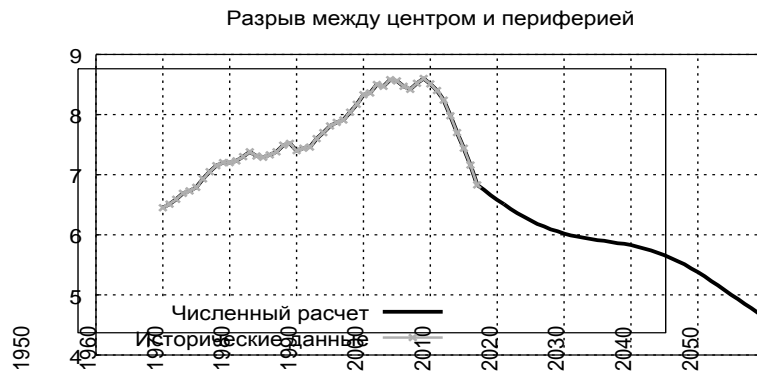
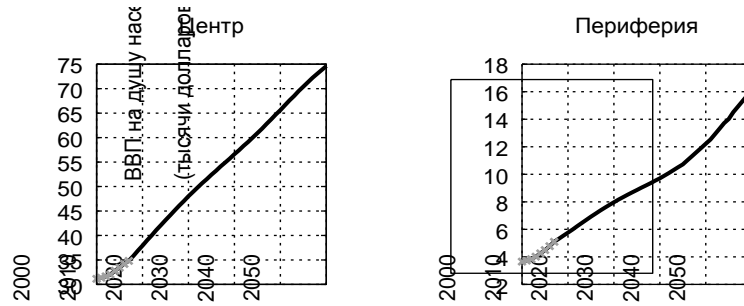


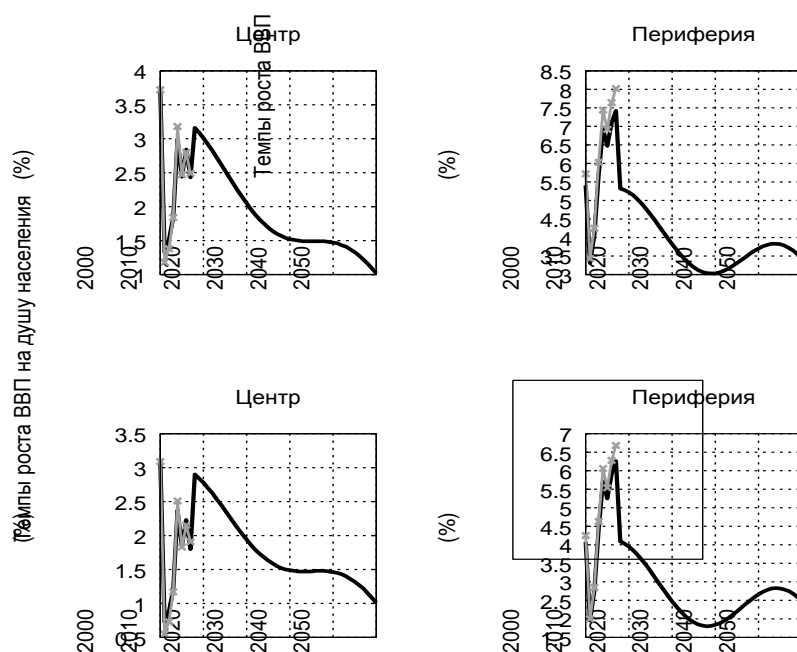
Рис 2.5. ВВП на душу населения. Прогноз до 2050 г.



*Постоянные доллары 2005 г. в паритете покупательной способности.

Результаты расчета по предложенной модели также позволяют сделать следующий прогноз: сокращение разрыва между центром и периферией, наблюдавшееся с начала 1970-х годов (и особенно быстрыми темпами – начиная с конца 1980-х годов), продолжится и в ближайшие десятилетия, но будет идти несколько более медленными темпами, чем в последнее десятилетие, и к 2050 г. этот разрыв (по ВВП на душу населения) сократится с современного уровня 7:1 до уровня 4,5:1.

Рис. 2.6. Темпы экономического роста. Прогноз до 2050 г.



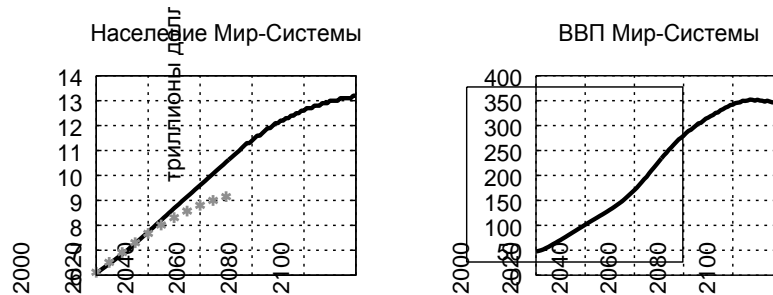
Темпы экономического роста в центре сократятся до 1%. На периферии в районе 2030 г. будет наблюдаться заметное сокращение значения этого показателя (темпы роста ВВП сократятся до 3% в год, темпы роста ВВП на душу населения – до 1,7%); тем не менее к 2050 г. эти показатели все же несколько поднимутся: до 3,5% и до 2,5% соответственно.

Инерционный прогноз численности населения превысил средний вариант прогноза ООН (на Рис. 2.7–2.8 обозначен серыми звездочками). При этом видно, что при вышеописанном варианте развития во второй

половине нашего века Мир-Система заметно превысит потолок несущей способности Земли, что может привести к катастрофическим последствиям (см. Рис. 2.7).

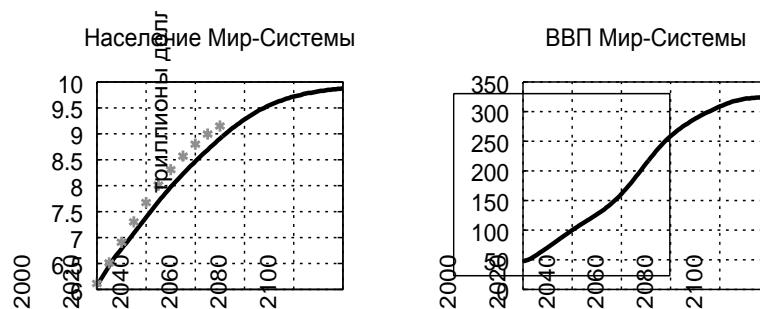
Интересен тот факт, что сценарий устойчивого развития возможен при кардинальном увеличении уровня поддержки образовательных программ на периферии со стороны центра. При расчетах, результаты которых отражены на Рис. 2.8, значение коэффициента, отвечающего за «перетекание» грамотности (коэффициент c в приведенных уравнениях) было увеличено в два раза против характерного для настоящего времени значения.

Рис 2.7. Население мира и общемировой ВВП. Инерционный прогноз до 2100 г.



* – средний прогноз ООН

Рис 2.8. Население мира и общемировой ВВП. Сценарий устойчивого развития. Прогноз до 2100 г.



* – средний прогноз ООН