

Применение глобальных баз данных в Форсайт-исследованиях энергетики и землепользования: метод GCDB

Гильберт Ахамер

Старший научный сотрудник, gilbert.ahamer@chello.at

Центр изучения климата и глобальных изменений им. Вегенера Университета Граца (Wegener Centre for Climate and Global Change, Graz University), Macherstrasse 15, 8047 Graz, Austria

Аннотация

Состояние национальных экономик во многом зависит от энергетических трендов, которые, как показывает практика, носят нелинейный характер. В статье предлагается эффективный метод прогнозирования таких трендов. Он основан на географическом подходе и комбинирует биосферно-энергетическую модель с базой данных глобальных изменений. Преимущество рассматриваемого метода перед «чистым моделированием» заключается в его эвристичности, оперировании реальной исторической динамикой техно-социально-экономических систем. Предлагаемый инструментарий применим для характеристики новых явлений и процессов и оценки

эффекта насыщения, в частности, с использованием первых и вторых производных. Его научная новизна заключается в учете корреляции динамических рядов, а не единичных данных. Это позволяет сделать важные выводы в ходе анализа массивов данных и проверить распространенную гипотезу «зависимости от выбранного пути» применительно к экономике энергетики и экономическому развитию в целом.

По мнению автора, применение предложенного метода повысит объективность собираемых данных, обогатит знания в области «теории роста», расширит информационную базу и увеличит эффективность государственной климатической политики.

Ключевые слова: Форсайт энергетики; глобальное моделирование; база данных глобальных изменений; сценарии; экстраполяция трендов; эвристическое моделирование; сценарий «обычная динамика»; энергия биомассы; изменения в сфере землепользования; насыщение.

Цитирование: Ahamer G. (2018) Applying Global Databases to Foresight for Energy and Land Use: The GCDB Method. *Foresight and STI Governance*, vol. 12, no 4, pp. 46–61. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.4.46.61

Введение: картирование энергетических трендов с позиций системной динамики

Производство энергии определяет развитие экономики любого государства. Например, в постсоветских странах, в частности в Казахстане, основным источником энергии остаются ископаемые виды топлива. Здесь, несмотря на нерешенные проблемы безопасности, включая утилизацию радиоактивных отходов, динамично развивается ядерная энергетика [WNA, 2018; Ахамер, 2012]. Однако масштабное потребление ископаемых топлив может сократиться ввиду ограниченности их запасов и участия Казахстана в международных соглашениях о защите климата. Это способно привести к радикальному изменению структуры национальной экономики, которая определяет позиции страны в среднеазиатском регионе [Gürgen et al., 1999; IMF, 2009].

Для превентивной оценки подобных изменений и реагирования на них в ряде государств составляются карты энергетических трендов (см., например, [IPCC, 2002; ИАСА, WEC, 1998; Foster, Rosenzweig, 2003; Barro, 1991]). Их экстраполяция, независимо от методов (линейные, экспоненциальные или иные), описывается аналитической кривой, вид которой представлен на рис. 1а. С помощью этого алгоритма оцениваются сравнительно короткие временные горизонты. Для проецирования тренда на несколько десятилетий выявляются *эффекты насыщения* (*saturation effects*) и *новые качества* (*new qualities*) (рис. 1б).

С точки зрения системной динамики [Sterman, 2000] оба типа развития, отраженные на рис. 1, рассматриваются как предсказуемые. Они прогнозируются путем наблюдений за нарастающей скоростью изменений. На стартовых этапах перемены могут иметь незначительную величину, а потому не прочитываться (речь идет о «слабых сигналах») [Steinmuller, 2012; Hiltunen, 2006]). Реальность рассматривается как сверхсложная система взаимосвязанных дифференциальных уравнений.

Изучая системную динамику, можно также выявить переломные моменты и «джокеры» (*wildcards*) — маловероятные события, радикально меняющие траекторию развития системы [Nikolova, 2017; Walsh et al., 2015; Mehrabanfar, 2014].

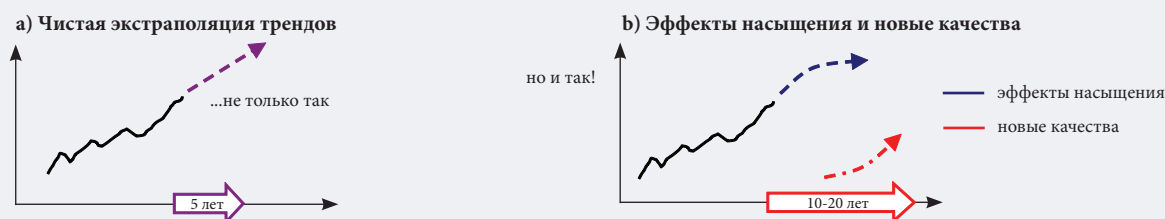
Различные трактовки Форсайта в литературе

Термин «Форсайт» часто используется компаниями при поиске перспективных возможностей, для обоснования оптимальных инвестиционных стратегий [Foresight Group, 2018] либо выявления технологических трендов в отдельных областях, например молекулярных нанотехнологий [Foresight Institute, 2018; Drexler, 1986] или транспорта [Foresight Automotive, 2018]. Ряд исследований посвящены оценке стратегий, сопоставлению экспертных мнений о сценариях будущего [Futurezone, 2013] или разработке государственной политики на основе технологического Форсайта [BMBF, 2012; Austrian Parliament, 2018]. Компании, предлагающие услуги на динамичном рынке Форсайт-исследований, не ограничиваются «суждениями в отношении ожидаемых событий и планированием действий на основании этих знаний», согласно традиционному словарному определению [Cambridge, 2018], а предлагают для анализа многовариантные сценарии будущего [Horx, 2018; Z-Punkt, 2018].

«Чистая» экстраполяция трендов базируется на фиксированных значениях (*values*) (обозначим их как «х»). Анализ первых и вторых производных (∂x и $\partial^2 x$) позволяет рассчитать эффекты насыщения и новые качества. Каждый из вариантов (x , ∂x и $\partial^2 x$) рассмотрим подробнее.

Основные подходы к Форсайту энергетики и землепользования, такие как картирование и проецирование энергетических аспектов на будущее, проявляются во многих формах. Задача нашей статьи — оценить перспективы эволюции глобального спроса на электроэнергию и способы его удовлетворения. В основу анализа положены классические карты потребления энергии и потенциала энергообеспечения, а структурные переменные, характеризующие энергетическую отрасль, сопоставляются с показателем среднедушевого валового национального продукта (ВНП) (GNP/cap). Объектами картирования служат пространственные и временные аспекты спроса и предложения, а также определяющие их факторы. Комбинирование обоих подходов позволяет построить карты и проекции динамических структур, которые составляют основу для национального Форсайта [Ахамер, 2019].

Рис. 1. Нелинейный прогноз долгосрочных трендов на основе принципа волновой эволюции



Источник: составлено автором.

Многие дисциплины, такие как физика, история и экономика, оперируют преимущественно временными категориями. В отличие от них география, опирающаяся на пространственные аспекты, рассматривает реальность с идеализированных позиций (обобщенный взгляд с высоты «птичьего полета» (*generalized bird-eye view*) [Ahamer, 2019]). На практике данный подход учитывается редко, тем не менее он позволяет увидеть и преодолеть существующие различия в индивидуальных восприятиях. Подобное «наведение мостов» способствует формированию консенсуса в любой области [Schmitz, 2009, p. 9; Schmitz, 2003, p. 21; Knizhnikov, 2018].

Картирование пространственного распределения спроса на энергию

В экономике энергетики при расчетах объема выбросов CO₂ и разработке мер по защите климата используется простая базовая формула, часто называемая «тождеством Кайя» (*Kaya identity*) [Kaya, 1990; Kaya et al., 1997; Rosa, Dietz, 2012], которая имеет вид [IPCC, 2002; IIASA, WEC, 1998; WEC, 2003]:

$$CO_2 = (CO_2 / E) \times (E / GNP) \times (GNP/capita) \times P, \quad (1)$$

где:

- CO₂ — уровень выбросов углекислого газа;
- E — спрос на конечную энергию (для конкретного энергоносителя);
- GNP — валовый национальный продукт (для конкретного экономического сектора);
- P — численность населения.

С точки зрения системного анализа [Stermann, 2000; Bentley et al., 2004; Vester, von Hesler, 1980; Meadows et al., 1972] развитие экономики как сложной динамической системы во многом определяется ее политической, технологической и социальной структурой [Heylighen,

1996; Chan, 2001]. Если структура остается устойчивой, темпы роста также сохраняются¹. Однако в реальности структура любой системы в процессе эволюции меняется, следовательно, все коэффициенты формулы (1) движутся по «траектории развития» и определяют «сценарии выбросов».

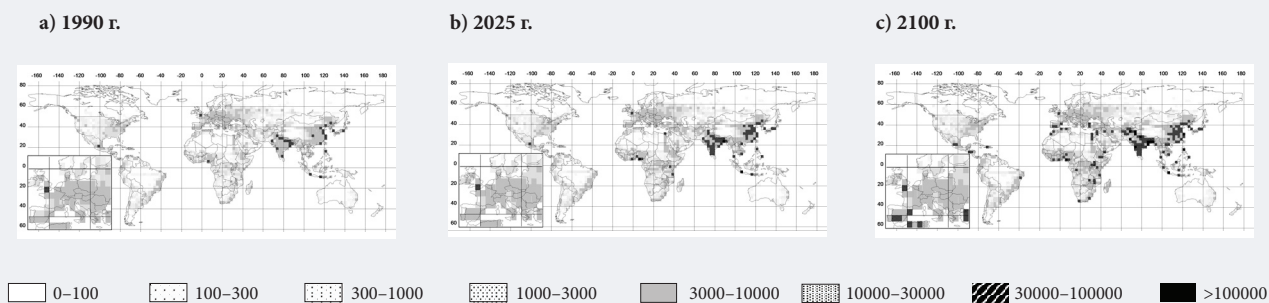
На рис. 2–5 представлены карты величин для каждой из четырех магнитуд драйверов, отраженных в формуле (1): население, валовой национальный продукт (ВНП), потребление первичной энергии и спрос на конечную энергию (по состоянию на 1990 г. и прогнозные на 2025 и 2100 гг.). Зависимая переменная в левой части формулы характеризует расчетные значения итогового объема эмиссии CO₂ (рис. 6, 7). В картах ключевых драйверов используется специальная координатная сетка размером 2.5° × 2.5°, предусмотренная «комбинированной энергетической и биосферной моделью» (*Combined Energy and Biosphere Model, CEBM*) для проецирования статистических данных Международного энергетического агентства (МЭА)².

Представленные на картах величины Pop, GNP, E и CO₂ имеют экстенсивную природу. Эти показатели соответствуют классическим географическим картам, основанным на пространственных структурах. В частности наблюдается сдвиг динамики выбросов углекислого газа из европейских стран, СНГ и Северной Америки в сторону Китая, Индии и частично Африки. В целом эта тенденция коррелирует с изменением национальных стратегий, политических курсов и другими эволюционными процессами.

На картах (рис. 2–7) отражены количественные показатели, измеряемые в денежном выражении и в единицах энергопотребления, которые в связи с их материальной природой часто называют экстенсивными магнитудами.

Вопреки гипотезе о зависимости от пройденного пути (*path dependence*), которые придерживают-

Рис. 2. Численность населения в 1990, 2025 и 2100 гг. в соответствии со сценарием СЕВМ (тыс. чел.)



Примечание: этот и последующие рисунки основываются на собственных разработках автора, детально описываемых в работе [Ahamer, 2019].

¹ Этот принцип можно назвать «ньютоновской парадигмой Форсайта» (*Newtonian foresight paradigm*) по аналогии с известным базовым законом механики, сформулированным Исааком Ньютоном: при отсутствии ускорения скорость материального объекта не меняется.

² Методология модели СЕВМ разработана автором в период сотрудничества с Международным институтом прикладного системного анализа (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA) [Ahamer, 1994].

Рис. 3. Валовой национальный продукт (ВНП) в 1990, 2025 и 2100 гг. в соответствии со сценарием СЕВМ (млн долл./год)

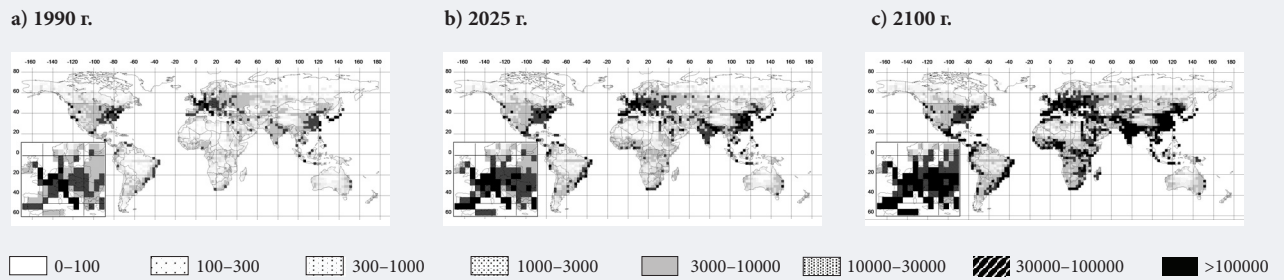


Рис. 4. Потребление энергии в 1990, 2025, 2100 гг. в соответствии со сценарием СЕВМ (ПДж/г.)

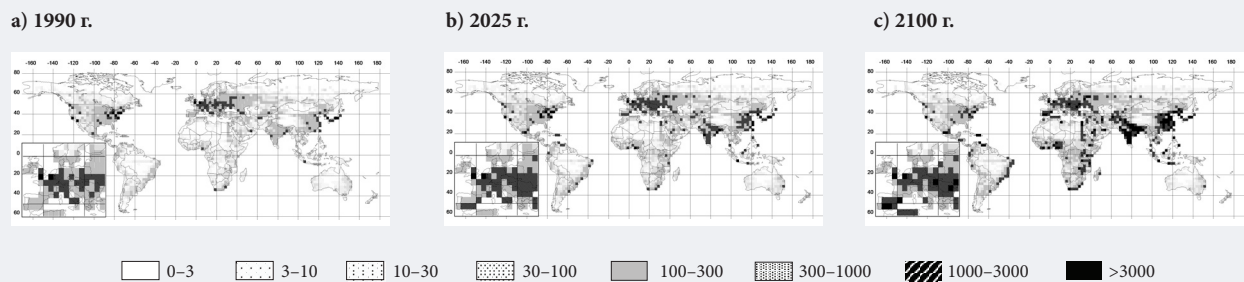


Рис. 5. Структура топливного баланса в 1990 г. согласно модели СЕВМ (%/100)

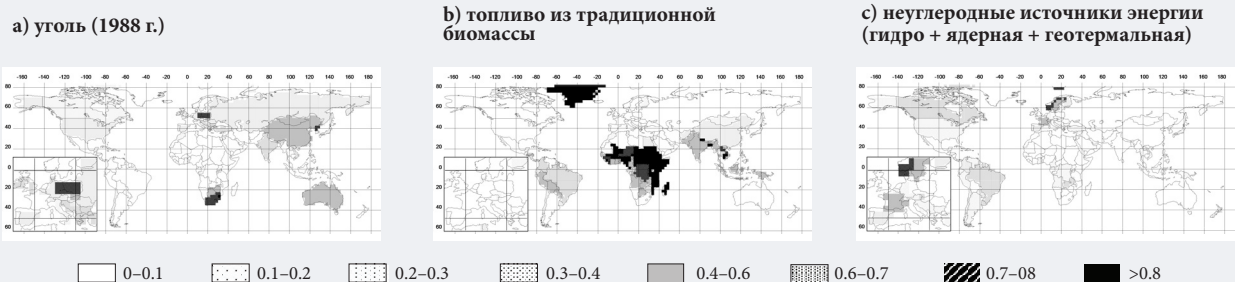
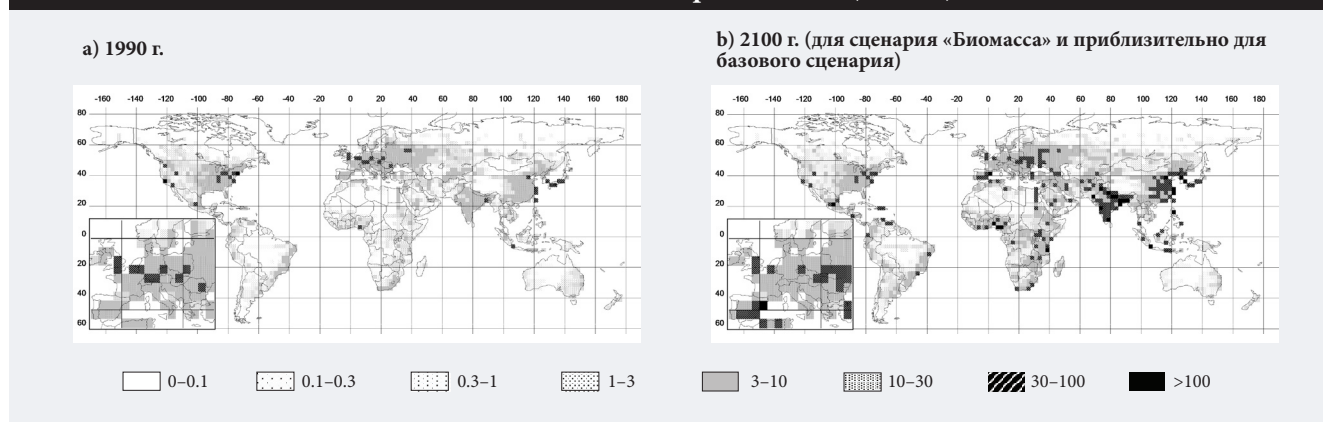


Рис. 6. Объем выбросов CO₂ из разных источников в 1990 г. по данным СЕВМ (квт С/г.)



Рис. 7. Объем выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива в 1990 и 2100 гг. в соответствии со сценарием СЕВМ (Mt/г.)



ся представители отдельных секторов, экстенсивные магнитуды не следуют плавным траекториям [Ahamer, 2013, 2019]. Плавные траектории и масштабируемые тренды с наибольшей вероятностью наблюдаются в системных переменных, описывающих внутреннюю структуру системы (в данном случае энергетической), ее взаимосвязи и временную динамику. Исходя из этого, тренды анализируются с позиций интенсивных, а не экстенсивных магнитуд. Это обусловлено прагматическими соображениями (тренды в интенсивных переменных выглядят более стабильными) и характеристиками системы (под влиянием ежегодно меняющихся внешних факторов ее

программная архитектура, культура и организационная структура характеризуются большей стабильностью, чем ожидаемое поведение).

Таким образом, описанные выше формула и методология проецирования предполагают использование коэффициентов косвенных экстенсивных факторов — драйверов, определяющих выбросы CO₂ (GNP/cap — среднедушевой ВВП, E/GNP и CO₂/E). Являясь интенсивными величинами, эти коэффициенты характеризуют системы и структуры в масштабах страны: экономику, энергетику и топливный баланс.

Помимо абсолютных величин (CO₂, E, GNP, Pop — см. рис. 2–5), на картах (рис. 8–11) показаны относительные

Рис. 8. Среднедушевое потребление энергии в 1990 и 2100 гг. (ГДж/чел./год)

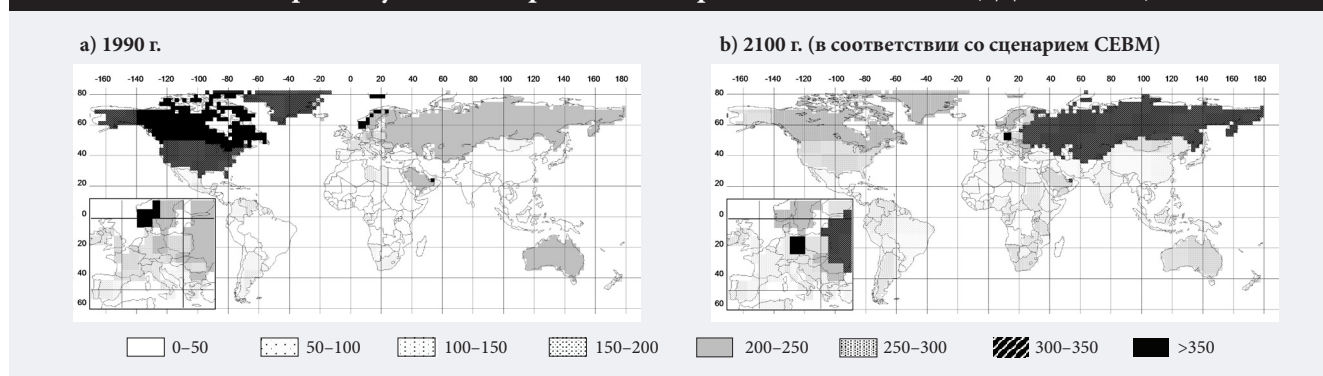


Рис. 9. Среднедушевой объем выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива (CO₂/cap) в 1990 и 2100 гг. (т. С/чел./год)

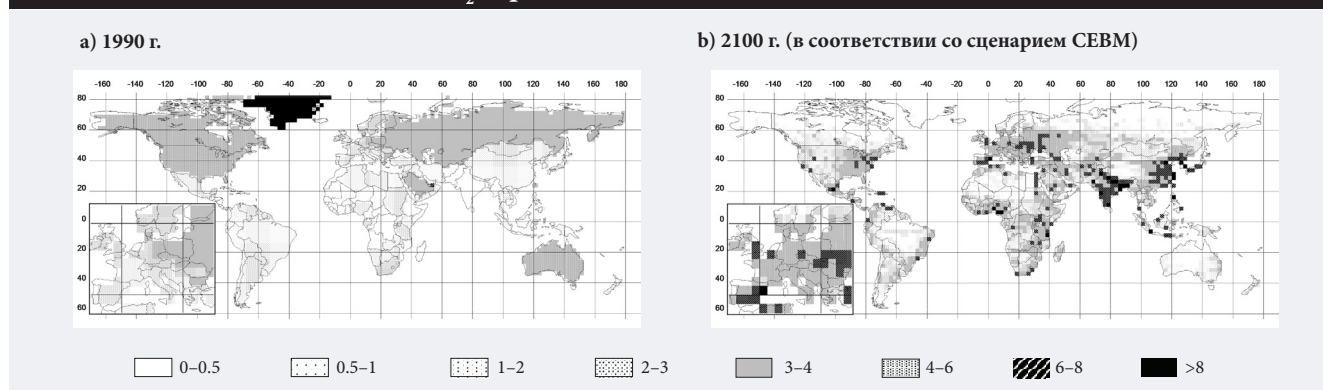
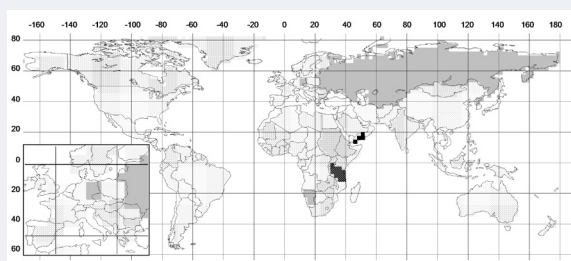


Рис. 10. Энергоемкость (удельная энергоемкость ВВП) (E/GNP) в 1990 и 2100 гг. (МДж/долл.)

а) 1990 г.



б) 2100 г. (в соответствии со сценарием СЕВМ)

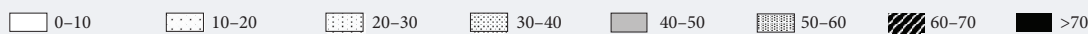
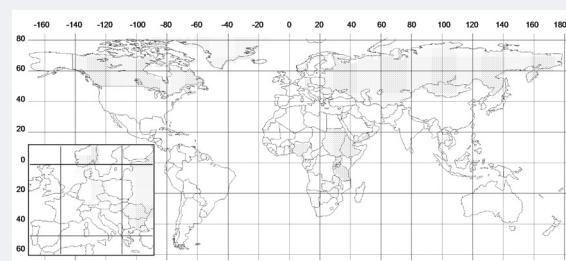
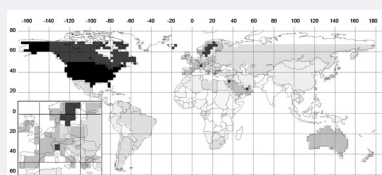
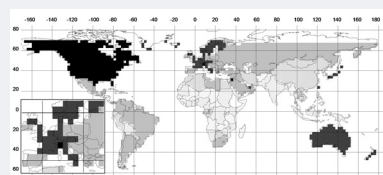


Рис. 11. Уровень экономического развития стран (среднедушевой показатель ВВП) (GNP/cap) в соответствии со сценарием СЕВМ для 1990, 2025 и 2100 гг. на основе допущения о глобальном экономическом насыщении (тыс. долл./чел.)

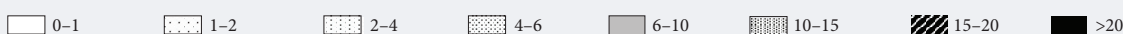
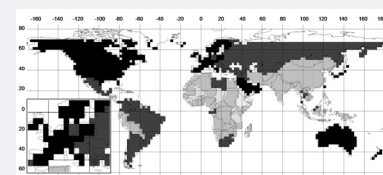
а) 1990 г.



б) 2025 г.



в) 2100 г.



тельные — в виде коэффициентов смежных (и последующих) переменных для 1990 и 2100 гг.: E/cap, CO₂/cap, E/GNP и GNP/cap.

Равномерное распределение данных внутри государств подтверждает обоснованность допущений о гомогенности национальных энергетических и экономических систем. Это позволяет укрупнить «уровень детализации» картирования и вместо 2433 элементов координатной сетки рассматривать 200 стран. Подобная системная структура предоставляет дополнительную «степень свободы» картирования, которая будет использована в последующих разделах.

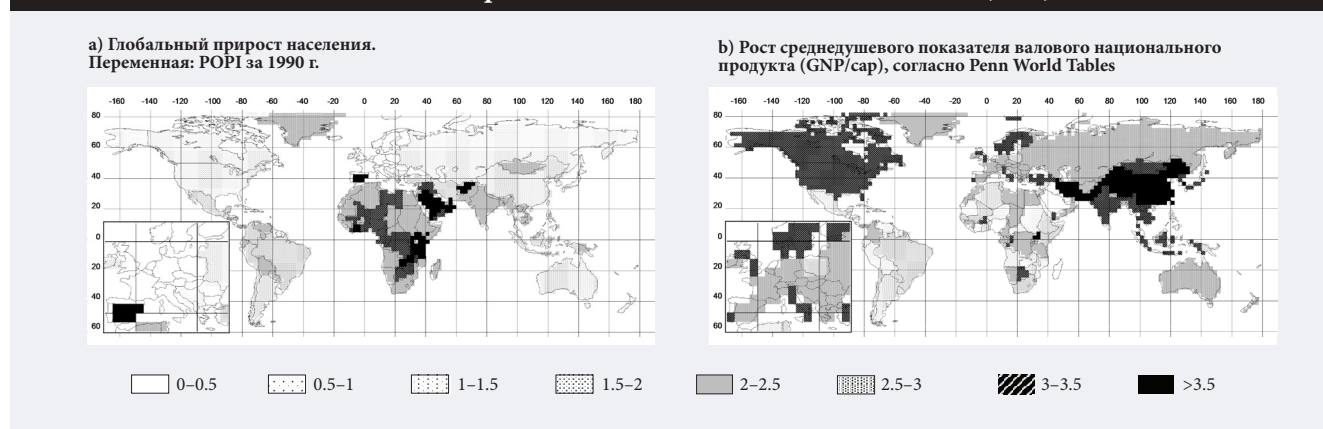
Приведенные показатели рассчитывались с использованием всех компонентов формулы. Они различаются по темпам роста и географическим характеристикам. Каждый индикатор может достичь точки насыщения и даже изменить динамику с положительной на отрицательную либо наоборот.

Дискутируя о характере географических паттернов роста (синхронность либо нарастание разрыва между странами) [Basu, Weil, 1998], экономисты разделились на два основных лагеря: неоклассический и кейнсианский [Barro, 1999]. К факторам, способствующим экономическому росту, относят: политическую стабильность и демократию [Barro, 1991, p. 432], развитие технологий

[De Long, Summers, 1991], выполнение исследований и разработок (ИиР) [Jones, Williams, 1998], стабильную экономическую интеграцию [Rivera, Romer, 1991, 1994; Devereux, Lapham, 1994]. С помощью регрессионных методов анализировались характеристики экономического развития в Китае и СССР на протяжении предшествующего столетия [Ofer, 1987; Chow, 1993]. В последние десятилетия набирает популярность научное направление «эволюционная экономика», развивающее идеи Йозефа Шумпетера (Joseph Schumpeter) о связи экономического развития с институциональным устройством [Hanusch, 1988; Bergh, Stiglitz, 2003].

В ряде исследований [Grossman, Krueger, 1995, p. 370] отмечается, что с увеличением ВВП возрастает ущерб, причиняемый окружающей среде, но лишь до определенного порога — значения среднедушевого ВВП на уровне 9000 долл., после чего негативное воздействие начинает снижаться. Этот феномен известен как «экологическая кривая Кузнецца» (Environmental Kuznets Curve, ЕКС) [Foster, Rosenzweig, 2003]. По данным МВФ [IMF, 2009], среднедушевой ВВП Казахстана в 2007 г. составил 6868 долл. Исходя из представленной выше закономерности, можно предположить предстоящее снижение экологического ущерба в этой стране, вызванного сжиганием ископаемого топлива.

Рис. 12. Темпы роста населения и экономики в 1990 г. (%/г.)



Приведенные положения позволяют заключить, что темпы роста рассматриваются как основная характеристика динамики и, следовательно, будущего развития системы. Возникает вопрос об оптимальных способах «картирования» этого показателя.

В качестве примеров на рис. 12 приведены карты темпов роста населения (слева) и среднедушевого ВВП (справа). Однако для адекватной интерпретации недостаточно простого сопоставления таких данных с географическими координатами и климатическими характеристиками — необходимо учитывать сложный исторический, экономический и политический «мировой опыт»³.

В последующих разделах рассмотрим динамику паттернов.

Картирование пространственных характеристик потенциального производства энергии из биомассы

Модель СЕВМ позволяет сопоставить глобальный спрос на энергию (см. серию рисунков, следующих за рис. 4) с потенциалом ее производства из биомассы — энергоносителя с нулевым объемом «чистых» выбросов CO₂. На рис. 13 представлены пространственные характеристики максимального теоретического потенциала выработки энергии из биомассы, выраженные в ежегодном объеме прироста древесины и травянистых растений на природных или сельскохозяйственных землях [Ahmer, 1994, 2019]. Оперирование категориями ежегодного прироста, а не суммарного объема биомассы обеспечивает соответствие одному из базовых критериев устойчивости.

Ожидается, что глобальный мегатренд повышения продуктивности сельского хозяйства приведет к снижению спроса на пахотные земли и высвободит площади для использования в других целях, включая производство энергии⁴. Таким образом, при благопри-

ятных условиях можно ожидать увеличения доступных земельных площадей для выращивания биомассы в индустриализированных странах.

При оценке глобального потенциала выращивания биомассы для производства энергии (см. рис. 13) учитывались пять альтернативных стратегий землепользования и растениеводства:

- as — применение сельскохозяйственной биомассы для выработки энергии;
- av — создание плантаций энергетической биомассы на ранее неосвоенных территориях;
- nv — извлечение энергии из природной биомассы растений, достигших возраста 5 лет (~ быстрая ротация растений);
- nvp — использование природной биомассы в производстве энергии (= лесное хозяйство);
- ap — создание плантаций энергетической биомассы на бывших землях сельскохозяйственного назначения.

Глобальный энергетический потенциал биомассы распределен неравномерно, к тому же центры ее производства не совпадают с местами максимального спроса (см. рис. 13). Сравнение географических характеристик, указанных на рис. 13 и рис. 4, иллюстрирует колоссальную потребность в транспортировке, которая может возникнуть в случае реализации экстенсивной стратегии производства энергии из биомассы.

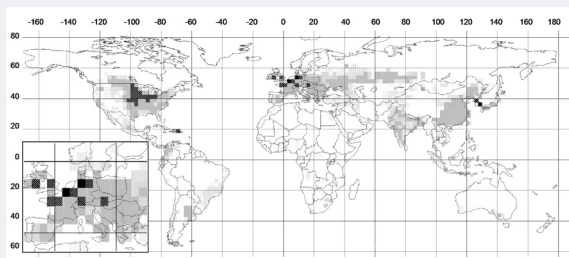
На рис. 14 приведены данные о совокупном глобальном производстве (три верхние позиции) и потребности электроэнергии (две нижние позиции). Можно предположить, что теоретический потенциал биомассы эквивалентен магнитуе реального спроса. На практике с учетом всех необходимых аналитических «отсечений» оказывается, что использование исключительно топлива, произведенного из биомассы, ни при каких условиях не сможет полностью обеспечить глобальную энергосистему.

³ Ряд авторов пытались предложить соответствующие объяснения, но многим читателям они могут показаться чрезмерно упрощенными [Landes, 2000].

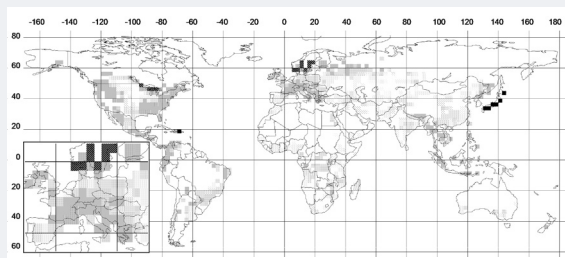
⁴ В частности, отмечена связь увеличения площади лесов с ростом среднедушевого ВВП [Foster, Rosenzweig, 2003, p. 601].

Рис. 13. Географическое распределение потенциала выращивания топливной биомассы для пяти стратегий: as, av, nv, nvп, ap (г С/м²/г.)

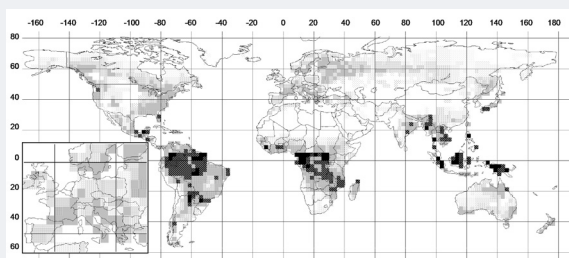
а) Стратегия as (использование сельскохозяйственной биомассы в энергетике)



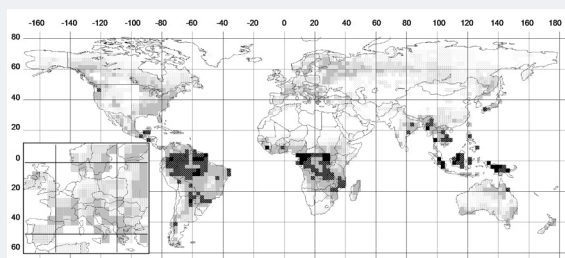
б) Стратегия av («энергетические» плантации на ранее неосвоенных территориях)



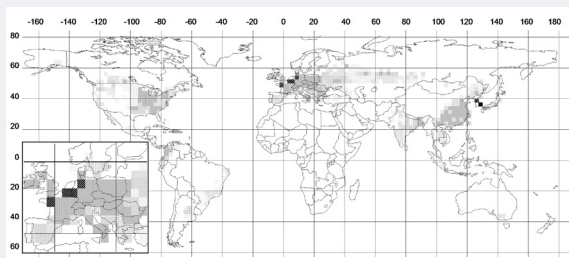
в) Стратегия nv (использование природной биомассы в энергетике по достижении растениями возраста в 5 лет)



д) Стратегия nvп (использование природной биомассы в энергетике, растения любого возраста = лесное хозяйство)



е) Стратегия ap («энергетические» плантации на бывших сельскохозяйственных землях)



ф) Ожидаемый спрос на топливо из биомассы в транспортном секторе



Легенда для карт (а-е)

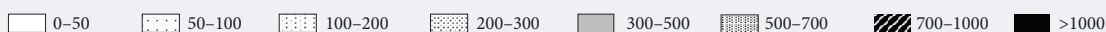


Рис. 14. Глобальные величины энергетического потенциала биомассы и спроса на первичную энергию



Источник: рассчитано автором с использованием модели СЕВМ [Ахамер, 2019]. Потери в ходе конвертации не учитывались.

Картирование временной динамики спроса на энергию

В статье описывается методика формирования базы данных глобальных изменений, позволяющая очертить картину будущего с помощью количественных показателей. Один из наиболее распространенных методов визуализации данных — построение графика с горизонтальной осью, отражающего динамику во времени. Значительно реже по сравнению со «временем» используется другая опция — «уровень экономического развития» (среднедушевой показатель ВВП, GNP/cap) [Garminder, 2018; IPCC, 2002, p. 125]. Это позволяет формировать наглядные графические структуры, к тому же траектория эволюции экономики зависит от ее структуры, которая в свою очередь определяется уровнем экономического развития. На рис. 15 приведен пример подобной «стратегии картирования».

Точность и полноту количественных измерений можно существенно повысить, располагая масштабной гармонизированной базой данных с географической привязкой. Дополнительные преимущества дают инструменты, позволяющие выявить корреляции между массивами данных, а не просто индивидуальными значениями. Наиболее стабильные и существенные связи можно рассматривать как ориентиры на достаточно реалистичной «карте техно-социально-экономической эволюции» (см. «рои» красных линий на рис. 16). Подмножества таких «робастных траекторий» интерпретируются с точки зрения способности поддерживать устойчивое развитие либо, напротив, уводить от него. Классический случай — оценка объемов выбросов CO₂, которая составляет основу нашего подхода.

Рассмотрим методологию графического представления информации, обработанной с применением инструментария «Базы данных о глобальных изменениях» (Global Change Database, GCDB). Исходя из выявленных тенденций развития факторов, определяющих глобальные изменения, можно сопоставить влияние различных аспектов деятельности на динамику концентрации CO₂ и соответственно изменения климата (ср. рис. 16 и выводы работ [Altmann et al., 2013; Öttl et al., 2014]).

Структура и аналитический инструментарий GCDB

База GCDB охватывает свыше 2000 массивов первичных переменных для 100–200 государств (с разбивкой по странам) за несколько десятилетий (преимущественно 1960–1991 гг.). Сведения аккумулируются из авторитетных международных источников:

- Международное энергетическое агентство (МЭА);
- Статистический отдел ООН (UNSTAT);

- Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (Food and Agriculture Organization of the United Nations);
- рейтинги «Индекс человеческого развития» (Human Development Index, HDI) и «Показатели мирового развития» (World Development Indicators, WDI), составляемые, соответственно, ООН и Всемирным банком (рис. 17).

Инструментарий GCDB обеспечивает конвертацию первичных данных (прежде всего экстенсивных переменных) во вторичные (интенсивные, общим числом в несколько тысяч) — индикаторы, показатели интенсивности, темпы изменения и т. п. Корреляции переменных отражены в числовой и графической формах (рис. 18; подробнее см.: [Ahamer, 2013]). Диаграммы составляются отдельно для стран, континентов и 11 регионов мира, учитываемых в работах по экономике энергетики для глобального моделирования [IPCC, 2002; GEA, 2012].

Посредством специального аналитического инструмента GCDB рассчитываются суммы, разности, произведения, коэффициенты и производные любых переменных GCDB по странам и регионам (агрегированные значения), коэффициенты корреляции отдельных данных и динамических рядов за несколько десятилетий. При первичном графическом анализе комбинируются результаты расчетов динамических рядов [Jones, 1995, p. 502; Islam et al., 2003, p. 151]. Кросс-корреляционные вычисления (см., например, [Barro, 1991, 2001]) заключаются в определении уровней, темпов изменений и эффектов насыщения в экономике, энергопотреблении и землепользовании.

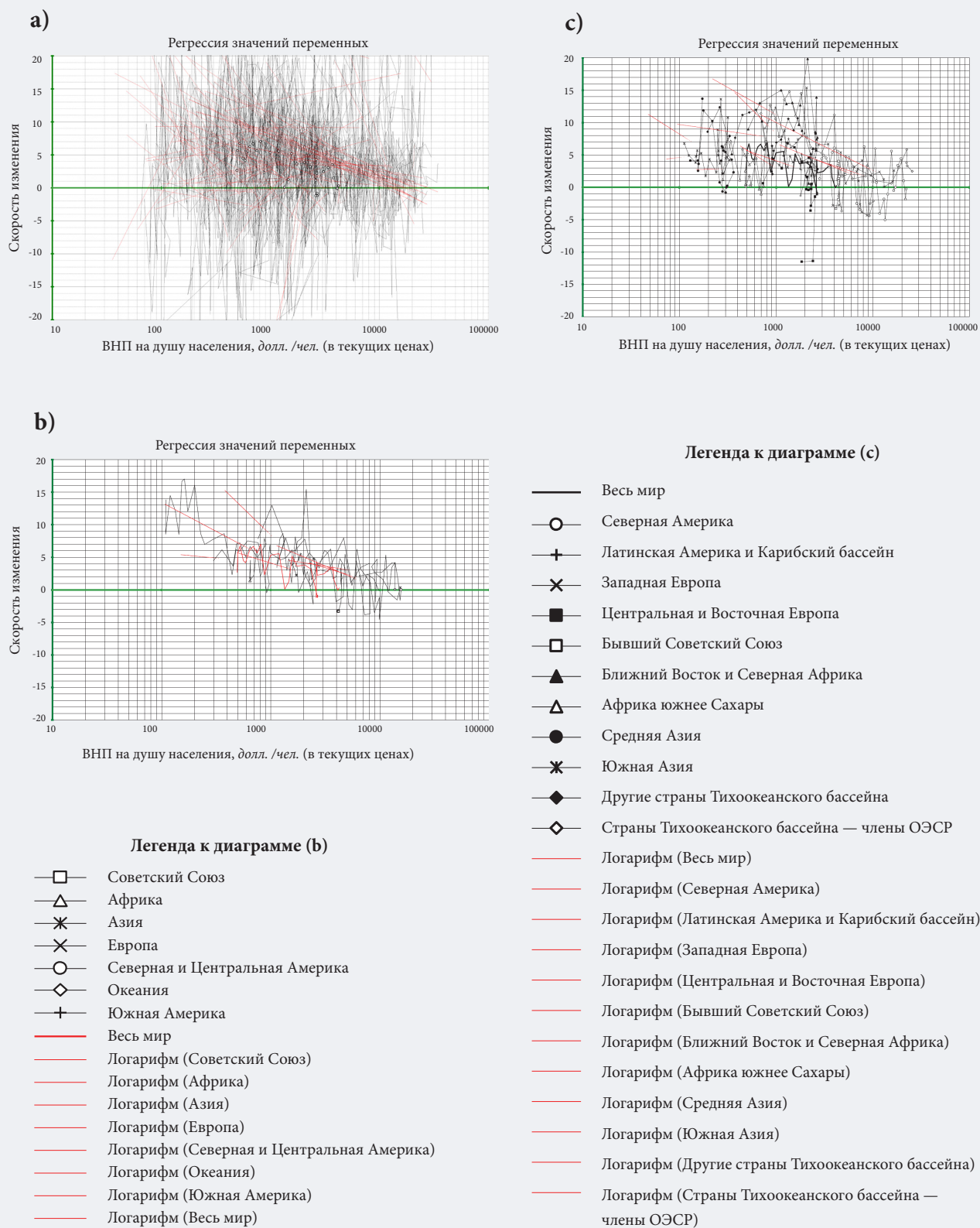
Согласно эмпирическому правилу надежные проекции могут охватывать не более половины периода, за который имеются данные. Это ограничение можно преодолеть, комбинируя рассматриваемую методологию с концепцией «траектории развития», в частности, при оценке роста среднедушевого ВВП. Распределение массивов данных по всем странам вдоль общей траектории (именно этот критерий нуждается в проверке) ведет к тому, что базис для проекции в вероятное будущее расширяется за счет охвата всех стран, от бедных до богатых. Получаемая при этом информационная база гораздо насыщеннее, чем «данные за несколько десятилетий». Применение первых и вторых производных динамических рядов увеличивает возможность статистического анализа.

Изучение статей в 15 журналах по экономике и энергетике с высоким импакт-фактором⁵ выявило стабильные тренды, расширяющие представление о картине эволюционного развития. При этом публикаций о каких-либо аналогах рассматриваемой нами методологии не обнаружилось.

Экономические, промышленные и энергетические структуры определяют характер глобальных перемен,

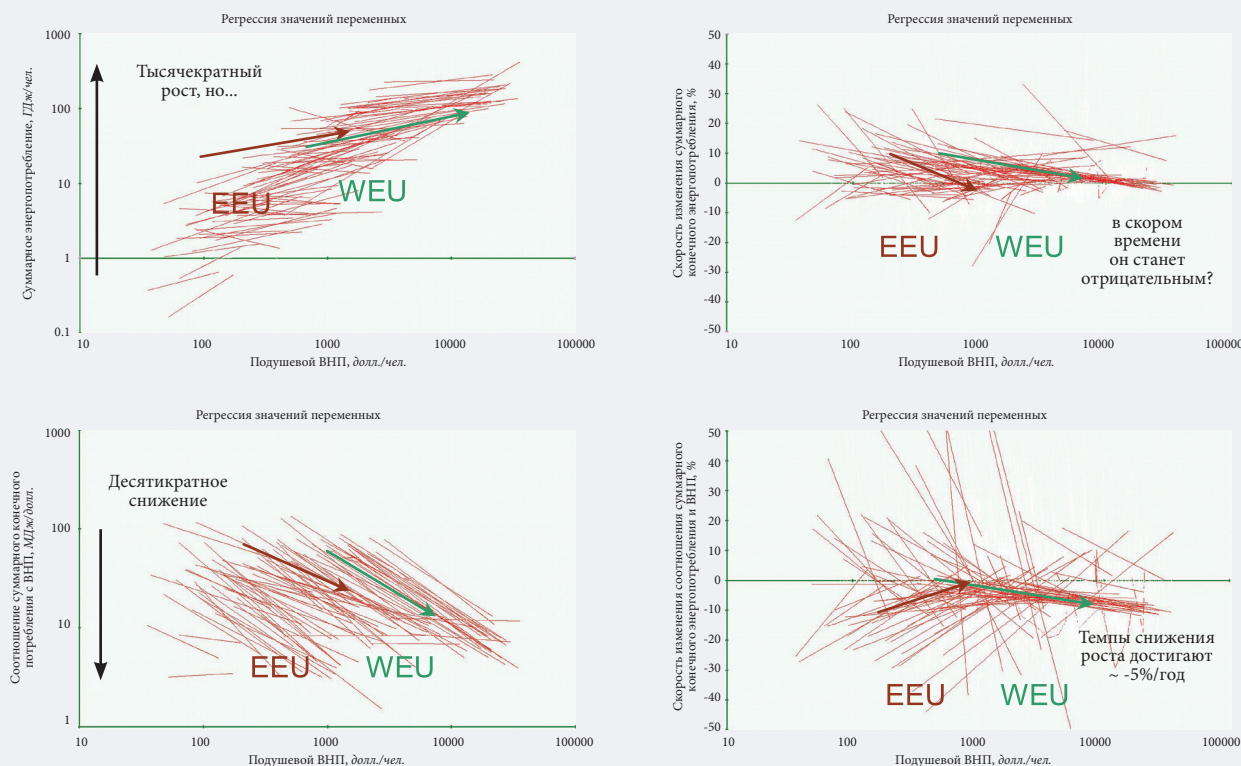
⁵ В частности: *Journal of Economic Literature*, *Quarterly Journal of Economics*, *American Economic Review*, *Ecological Economics*, *Econometrica*, *Economic Policy*, *Economic Geography*, *Economy and Society*, *Energy*, *Energy Economics*, *Journal of Financial Economics*, *Journal of Political Economy*, *NBER Macroeconomic Annals*, *Social Indicators Research*. Подробнее о понятии импакт-фактора см. <http://isiwebofknowledge.com/>.

Рис. 15. Темпы роста конечного спроса на энергию как функция GNP/сар (%)



Примечание: каждый черный граф иллюстрирует динамику по конкретной стране на протяжении примерно трех десятилетий. Для уменьшения волатильности визуализируемой информации вычисляется линия тренда (обозначена красным). Красные линии, таким образом, показывают тренды для конкретных стран (а), континентов (б) и регионов (с).

Рис. 16. Динамика среднедушевого потребления энергии

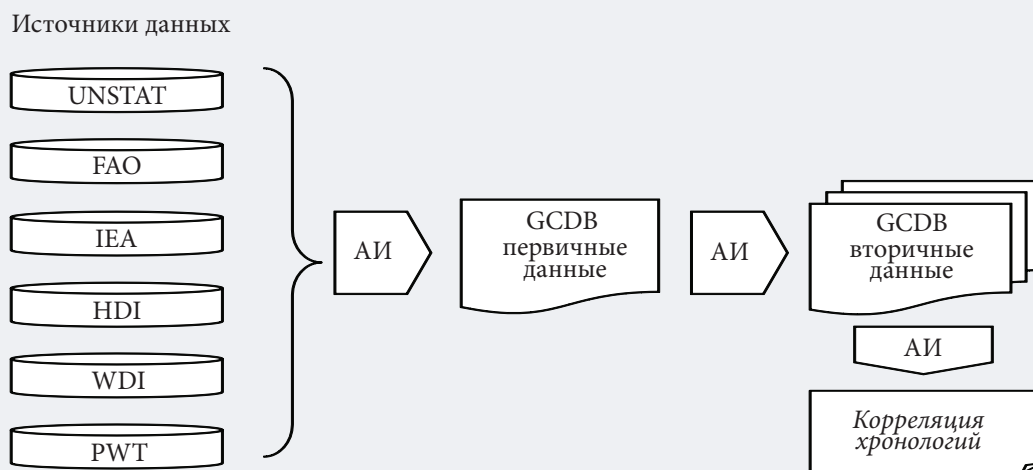


Примечание: глобальный показатель среднедушевого потребления энергии продолжает расти (верхний левый график), однако темпы этого роста снижаются и начинают приближаться к нулю (верхний правый график), если представить их в обобщенном виде для всех стран как функцию уровня экономического развития (среднедушевой показатель ВВП = GDP/cap). Данный тренд свидетельствует о трансформации глобальной энергетической системы. Аналогично, энергопотребление на единицу ВВП (= энергоёмкость) существенно снижается по всему миру (нижний левый график), причем ускоряющимися темпами (нижний правый график).

Условные обозначения: WEU = Западная Европа, EEU = Центральная и Восточная Европа без учета России.

Источник: [Ahmer, 2015].

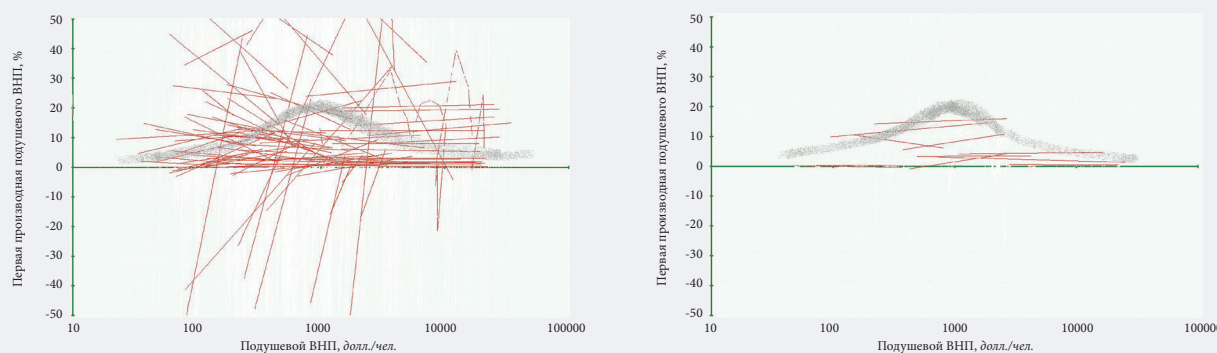
Рис. 17. Схема формирования «Базы данных глобальных изменений» (GCDB)



Примечание: расшифровку аббревиатур для источников данных см. в тексте. Полученные сведения были топографически гармонизированы с помощью аналитического инструмента (АИ). На основе математического комбинирования данных АИ позволяет получить разнообразные вторичные данные, которые можно коррелировать и представить графически для выявления «траекторий развития», используемых в некоторых трактовках теории роста.

Источник: [Ahmer, 2013].

Рис. 18. Первые попытки формирования пространственно-временных карт



Примечание: относительный рост среднедушевого ВВП (GDP/cap) представлен в среднем за три десятилетия для всех стран (слева) и агрегирован для 11 регионов [Ahamer, 2019]. Серое «напыление» иллюстрирует гипотетические повышенные темпы роста в странах со средним уровнем доходов по сравнению с государствами, характеризуемыми высокой либо низкой величиной этого показателя. Полученные результаты сопоставимы с кривыми роста насыщения и в целом согласуются с выводами работы [Korotayev, Zinkina, 2014].

включая выбросы CO_2 , ведущие к изменению климата [IPCC, 2001, 2014]. В связи с этим они представляют интерес для исследования как объекты количественной оценки.

В настоящее время широко применяется метод проекции современных социально-экономических условий [Ang, Liu, 2000, p. 538]. Однако в результате изменений внутренней структуры глобальной социально-экономической системы возникают отклонения от «привычной» траектории. Параметр «изменение скорости эволюции», позволяющий получить надежную информацию о подобных отклонениях, пока изучен недостаточно.

При таком подходе основным источником знаний выступают характеристики межсубъективно перепроверяемой «реальности», а не «результаты моделирования» (теоретические модели желаемой реальности, построенные в соответствии с теми или иными умоглядными представлениями независимо от предложившей их научной школы)⁶. Следовательно, информация о корреляции или изменении направлений развития исходит из фактических данных (за прошлые десятилетия), а не искусственных результатов моделирования. Читатель вправе интерпретировать эти данные по своему усмотрению.

Методология GCDB включает анализ ключевых позиций в динамических рядах данных по всем странам, текстур, наклонов и изгибов всевозможных кривых с применением новейших статистических методов. В ее основе лежит ранее упомянутая формула для расчета объема выбросов CO_2 , обусловленных производством энергии, базирующаяся на тождестве Кайи [Kaya, 1990; Kaya et al., 1997; Rosa, Dietz, 2012], которая в данном случае дополнена коэффициентом, отражающим разницу между первичным и конечным энергопотреблением⁷:

$$\text{CO}_2 = (\text{CO}_2/E_p) \times (E_p/E_f) \times (E_f/\text{GDP}) \times (\text{GDP/capita}) \times P, \quad (2)$$

где:

- CO_2 — объем выбросов CO_2 ;
- E_p — потребление первичной энергии;
- E_f — конечное потребление энергии;
- GDP — валовой национальный продукт;
- P — численность населения.

Все показатели из правой части формулы (2), за исключением последнего, рассчитываются для конкретного сектора экономики, а первые три — еще и для определенного вида топлива. Для учета выбросов CO_2 , связанных с изменением практики землепользования, была разработана аналогичная структура, в которой вместо параметра «энергия» используется величина «площадь», а вместо «топлив» — «виды культур».

Переменные, характеризующие динамику глобальной эволюционной системы (в основном — функции GDP/cap), представлены в табл. 1, а иерархия индикаторов рассматриваемой методологии — в табл. 2.

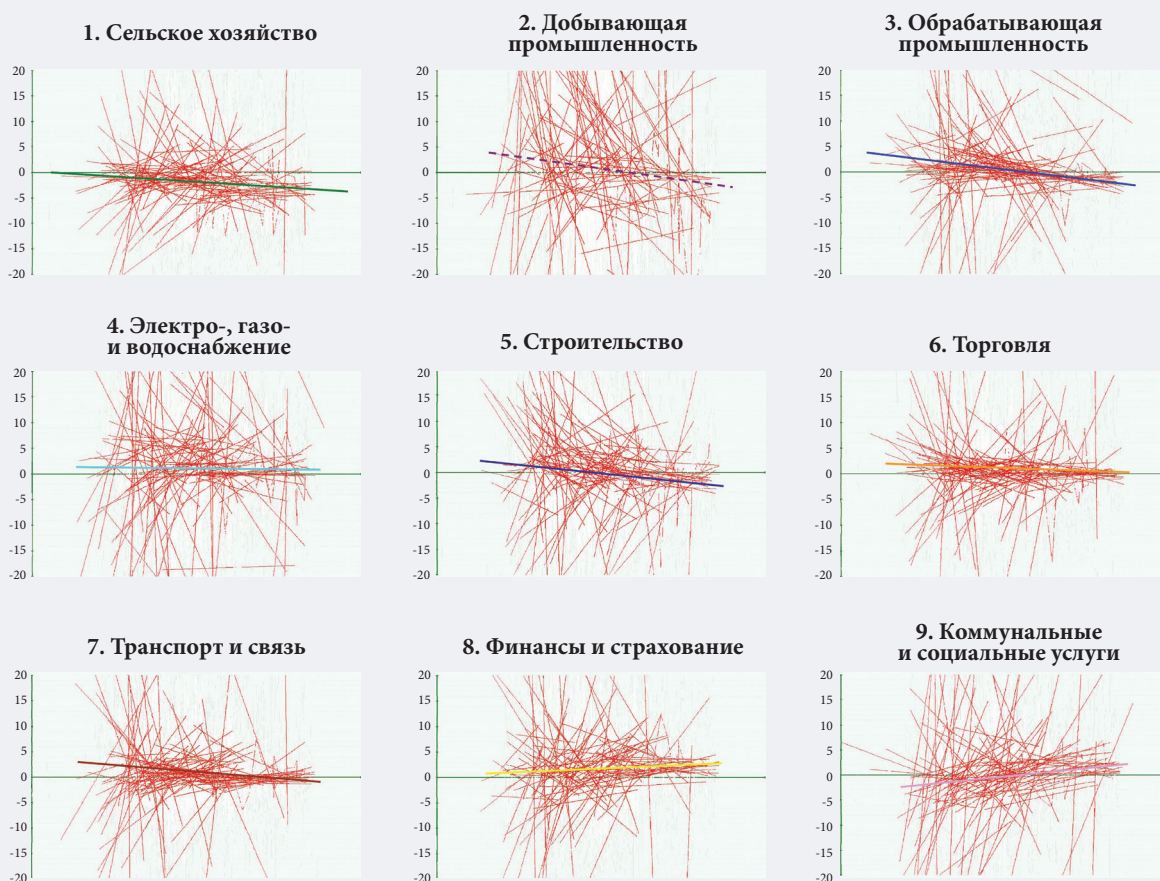
Табл. 1. Переменные, характеризующие динамику глобальной эволюционной системы

Наименование	Описание
Уровни	Обозначены в статье как «вектор состояния» x . Определяются для каждой страны, в формате динамического ряда
Скорость изменений	Первая производная вектора состояния (\dot{x}) (рис. 19). Охватывает уровни насыщения (ситуации, в которых первые производные стремятся к нулю)
Изменение скорости развития	Вторая производная вектора состояния (\ddot{x}). Позволяет точнее выявить насыщения и другие виды нелинейного поведения в страновом, региональном и временном разрезах
Источник: составлено автором.	

⁶ В традициях Галилео Галилея, который предлагал кардиналам «взглянуть на астрономическую реальность в телескоп» и убедиться в правильности его мировоззрения [Galilei, 2002].

⁷ Описание более сложной формы см.: [Ahamer, 2013, p. 373].

Рис. 19. Предварительный анализ темпов роста девяти секторов экономики с помощью GCDB (%)



Условные обозначения: см. рис. 18; диапазон вертикальной оси от -20%/г до +20%/г. Значения выше зеленой линии (ноль) означают рост, ниже нее — падение.

Табл. 2. Категории индикаторов

Категория	Характеризуемый параметр	Примеры	Графическое представление
Экстенсивные	Количество, потоки	Энергия, население, площадь	Рис. 2–7
Интенсивные	Структуры	Коэффициенты, показатели, энергоёмкость	Рис. 8–11
Доли	Состав, структура	Отраслевой ВВП, топливный баланс	Рис. 19

Источник: адаптировано автором на основе [Schipper et al., 2000, p. 4].

Для применения формулы (2) требуется гармонизация отраслевых каталогов (например, статистики МЭА и Системы национальных счетов (System of National Accounts, SNA)). Полученные значения следует интерпретировать осторожно, с учетом имеющегося опыта национальной экологической статистики, прежде всего в отношении транспорта и домохозяйств [Schipper et al., 2000]. С оговорками необходимо трактовать и понятие «секторальная интенсивность» (*sectoral intensity*) — как квазипеременную, характеризующую смещение «акцентов» или «ценностей». Применение

декомпозиции [Schipper et al., 2000, p. 22] позволяет оценить вклад различных факторов в достижение эффектов «декарбонизации» (*decarbonisation effect*), «интенсивности» (*intensity effect*), «рикошета» (*rebound effect*) и иных сдвигов во взаимосвязанных социально-экономических метаструктурах.

Заключение

Как показало наше исследование, методология GCDB является релевантным инструментом для идентификации трендов в глобальной энергетической системе, дающим более полное представление о ее динамическом поведении. Распространение данного инструментария произведет определенные эффекты для науки и общества. Различные подходы к теории развития, зачастую противоречивые, получают здесь дополнительное обоснование. Это позволит трактовать экономические идеологии сквозь мультикультурную призму и разрабатывать соответствующие университетские программы, такие как «Глобалистика» (Global Studies) [Bader et al., 2013, 2014]. Появится дополнительная контекстная информация для разработки, оценки и мониторинга реализации национальных и глобальных мероприятий по защите климата. Поэтапная оценка вклада различных факторов в прирост ВВП обогатит знания в области

«теории роста». Методология GCDB как инструмент разработки сценариев расширит основу для практического междисциплинарного применения концепций науки о системах и теории игр.

Понимание контекста глобальных тенденций и учет траектории развития отдельных стран позволят конкретизировать системный анализ «глобальных изменений». Расширится представление о связях между практичностью декларированных целей по защите климата и реальными возможностями их достижения, повысится эффективность государственной климатической политики. Перечисленные факторы могут способствовать растущему осознанию обществом необходимости направлять технологическое развитие в сторону защиты окружающей среды и минимизации выбросов CO₂.

Представленные в статье результаты могут создать впечатление, что темпы роста глобального энергопотребления в обозримой перспективе должны замедлиться из-за того, что в рамках текущего топливного баланса пик потребления угля, нефти и газа, по-видимому, скоро будет достигнут. Подобный мегатренд угрожает экономике почти всех стран, но в первую очередь бывшим советским республикам, включая Россию, Казахстан и др. Оптимальная стратегия реагирования видится в диверсификации энергоресурсной базы (развитие солнечной и ветряной энергетики, производство энергии из биомассы и др.) [Ermolenko et al., 2017; Proskuryakova, Kovalev, 2015] и оценке ее потенциала с помощью глобальных информационных систем.

Библиография

- Ahamer G. (1994) Influence of an Enhanced Use of Biomass for Energy on the CO₂ Concentration in the Atmosphere // *International Journal of Global Energy Issues*. Vol. 6. № 1/2. P. 112–131.
- Ahamer G. (2012) Geo-Referenceable Model for the Transfer of Radioactive Fallout from Sediments to Plants // *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 223. № 5. P. 2511–2524. DOI: 10.1007/s11270-011-1044-x.
- Ahamer G. (2013) A Planet-Wide Information System // *Campus-Wide Information Systems*. Vol. 30. № 5. P. 369–378. DOI 10.1108/CWIS-08-2013-0032.
- Ahamer G. (2015) Applying student-generated theories about global change and energy demand // *International Journal of Information and Learning Technology*. Vol. 32. № 5. P. 258–271. DOI 10.1108/IJILT-01-2015-0002.
- Ahamer G. (2019) *Mapping Global Dynamics. From Local Pollution to Global Evolution*. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- Altmann M., Eisenreich S., Lehner D., Moser S., Neidl T., Rüscher V., Vogeler T. (2013) Global inequality and poverty in perspectives of geography // *Multicultural Education & Technology Journal*. Vol. 7. № 2/3. P. 127–150.
- Ang B.W., Liu F.L. (2000) A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistent in aggregation // *Energy*. Vol. 26. № 6. P. 537–548.
- Austrian Parliament (2018) *Foresight and Technology Assessment: Monitoring of future themes for the Austrian Parliament*. Vienna: Austrian Parliament. Режим доступа: <https://www.parlament.gv.at/SERV/FTA/>, дата обращения 04.12.2018.
- Bader L., Bereuther T., Deutsch E., Edlinger J., Füreder S., Kaspar E., Köttstorfer M., Mautner C., Rossegger C., Samonig A., Samonig S., Schuster C., Witz G., Zotter V., Ahamer G. (2013) Quality Improvements in Curricula for Global Studies // *Multicultural Education and Technologies Journal*. Vol. 7. № 2/3. P. 113–126. DOI 10.1108/17504971311328035.
- Bader L., Bereuther T., Deutsch E., Edlinger J., Füreder S., Kaspar E., Köttstorfer M., Mautner C., Rossegger C., Samonig A., Samonig S., Schuster C., Witz G., Zotter V., Rozanov A., Ilyin V., Ahamer G. (2014) Multiparadigmatic Humanities: Curricula for Global Studies // *International Journal of Humanities and Social Science*. Vol. 4. № 6. Part 1. P. 314–337.
- Barro R.J. (1991) Economic Growth in a Cross Section of Countries // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 106. № 2. P. 407–443.
- Barro R.J. (1999) Ramsey Meets Laibson in the Neoclassical Growth Model // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 114. № 4. P. 1125–1152.
- Barro R.J. (2001) Human Capital and Growth // *American Economic Review*. Vol. 91. № 5. P. 12–17.
- Basu S., Weil D.N. (1998) Appropriate Technology and Growth // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 113. № 4. P. 1025–1054.
- Bentley L.D., Dittman K.C., Whitten J.L. (2004) *System analysis and design methods*. Boston, MA: McGraw-Hill, Irwin.
- Bergh J.C.J.M., Stagl S. (2003), Coevolution of economic behaviour and institutions — towards a theory of institutional change // *Journal of Evolutionary Economics*. Vol. 13. № 3. P. 289–317.
- BMBF (2012) *Mit Foresight in die Zukunft schauen*. Berlin: BMBF. Режим доступа <https://www.bmbf.de/de/mit-foresight-in-die-zukunft-schauen-930.html>, дата обращения 04.12.2018.
- Cambridge (2018) *Foresight in the Cambridge Dictionary*. Режим доступа <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/foresight>, дата обращения 04.12.2018.
- Chan S. (2001) *Complex Adaptive Systems*. Paper presented at the ESD.83 R Research Seminar in Engineering Systems, October 31 – November 6, 2001. Режим доступа: <http://web.mit.edu/esd.83/www/notebook/Complex%20Adaptive%20Systems.pdf>, дата обращения 04.12.2018.
- Chow G.C. (1993) Capital Formation and Economic Growth in China // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 108. № 3. P. 809–842.
- Dave B. (2008) *Kazakhstan // Nations in Transit*. Lanham, MD: Freedom House. P. 281–302.
- De Long J.B., Summers L.H. (1991) Equipment Investment and Economic Growth // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 106. № 2. P. 445–502.
- Devereux M.B., Lapham B.J. (1994) The Stability of Economic Integration and Endogenous Growth // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 109. № 1. P. 299–305.

- Drexler E. (1986) *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. New York: Anchor Books.
- Ermolenko G.V., Ermolenko B.V., Proskuryakova L., Fetisova Y. (2017) Wind and solar PV technical potentials: Measurement methodology and assessments for Russia // *Energy*. Vol. 137. P. 1001–1012.
- Foresight Automotive (2018) Implementing innovations & adding economic value: Interdisciplinary exchange and fruitful networking. Режим доступа: <https://foresight-automotive.com/ziele/?lang=en>, дата обращения 04.12.2018.
- Foresight Group (2018) Vision & Values. Режим доступа: <https://www.foresightgroup.eu/>, дата обращения 04.12.2018.
- Foresight Institute (2018) Advancing beneficial technology. Режим доступа: <https://foresight.org/#>, дата обращения 04.12.2018.
- Foster A.D., Rosenzweig M.R. (2003) Economic Growth and Rise of Forests // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 118. № 1. P. 601–637.
- Futurezone (2013) Foresight: Den Zukünften auf der Spur. Режим доступа: <https://futurezone.at/science/foresight-den-zukuenften-auf-der-spur/24.590.988>, дата обращения 04.12.2018.
- Galilei G. (2002) *Sidereus Nuncius* (News about new stars) (reprinted by H. Blumenberg). Frankfurt: Suhrkamp.
- Garminder (2018) Statistical tools. Режим доступа: <https://www.garminder.org/tools/>, дата обращения 04.12.2018.
- GEA (2012) *Global Energy Assessment — Toward a Sustainable Future*. Cambridge (UK) and New York: Cambridge University Press; Laxenburg (AT): International Institute for Applied Systems Analysis.
- Grossman G.M., Krueger A.B. (1995) Economic Growth and the Environment // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 110. № 2. P. 353–377.
- Gürgen E., Snoek H., Craig J., McHugh J., Izvorski I., van Rooden J. (2009) Economic Reforms in Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan. Occasional Paper № 183. Washington, D.C.: International Monetary Fund. Режим доступа: <http://www.imf.org/external/pubs/nft/op/183/index.htm>, дата обращения 11.06.2018.
- Hanusch H. (ed.) (1988) *Evolutionary Economics: Applications of Schumpeter's Ideas*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Heylighen F. (1996) The Growth of Structural and Functional Complexity during Evolution // *The Evolution of Complexity / Eds. F. Heylighen, D. Aerts*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Режим доступа <http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/ComplexityGrowth.html>, дата обращения 04.12.2018.
- Hiltunen E. (2006) Was It a Wild Card or Just Our Blindness to Gradual Change? // *Journal of Futures Studies*. Vol. 11. № 2. P. 61–74.
- Horx M. (2018) Zukunftsinstitut and Publications. Режим доступа: <https://www.horx.com/>, дата обращения 04.12.2018.
- PIASA, WEC (1998) *Global Energy Perspectives in 1998*. London: World Energy Council; Laxenburg (AT): International Institute for Applied Systems Analysis.
- IMF (2009) Republic of Kazakhstan — Concluding Statement of the IMF Mission, January 16, 2009. Washington, D.C.: International Monetary Fund. Режим доступа: <http://www.imf.org/external/np/ms/2009/011609.htm>, дата обращения 11.06.2018.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001. Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge (UK), New York: Cambridge University Press.
- IPCC (2002) *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Режим доступа: www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf, дата обращения 11.06.2018.
- IPCC (2014) *The Fifth Assessment Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Islam S.M.N., Munasinghe M., Clarke M. (2003) Making long-term economic growth more sustainable: Evaluating the costs and benefits // *Ecological Economics*. Vol. 47. № 2–3. P. 150–166.
- Jones C.I. (1995) Time Series Tests of Endogenous Growth Models // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 110. № 2. P. 495–525.
- Jones C.I., Williams J.C. (1998) Measuring the Social Return to R&D // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 113. № 4. P. 1119–1135.
- Knizhnikov A. (2018) WWF Rating 2018: Results, Progresses, Challenges regarding environmental responsibility in the Russian oil & gas industry. Paper presented at the Ecological Responsibility in Russia's Energy Sector Workshop, 5th December 2018, Berlin.
- Korotayev A., Zinkina J. (2014) On the structure of the present-day convergence // *Campus-Wide Information Systems*. Vol. 31. № 2/3. P. 139–152.
- Landes D.S. (2000) *The Wealth and Poverty of Nations: Why Some Are So Rich and Some So Poor*. New York: W.W. Norton.
- Lovelock J. (1988) *The Ages of Gaia. A Biography of Our Living Earth*. New York, London: W. W. Norton & Co.
- Meadows D.H., Randers J.; Meadows D.L., Behrens W.W. (1972) *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Mehrabanfar E. (2014) Wild Cards Applications in Futures Studies // *International Journal of Modern Management & Foresight*. Vol. 1. № 8. P. 212–218.
- Nikolova B. (2017) The wild card event: Discursive, epistemic and practical aspects of uncertainty being 'tamed' // *Time & Society*. Vol. 26. № 1. P. 52–69. DOI: 10.1177/0961463X15577283.
- Ofer G. (1987) Soviet Economic Growth // *Journal of Economic Literature*. Vol. 25. № 4. P. 1767–1833.
- Öttl U.F.J., Pichler B., Schultze-Naumburg J., Wadispointner S. (2014) Integration policies in Europe — A web-based search for consensus // *Campus-Wide Information Systems*. Vol. 31. № 2/3. P. 121–138.
- Proskuryakova L., Kovalev A. (2015) Measuring energy efficiency: Is energy intensity a good evidence base? // *Applied Energy*. № 138. P. 450–459. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.10.060.
- Rivera L.A., Romer P.M. (1991) Economic Integration and Endogenous Growth // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 106. № 2. P. 531–555.
- Rivera L.A., Romer P.M. (1994) Economic Integration and Endogenous Growth – An Addendum // *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 109. № 1. P. 307–308.

- Rosa E.A., Dietz T. (2012) Human drivers of national greenhouse-gas emissions // *Nature Climate Change*. Vol. 2. P. 581–586. DOI:10.1038/nclimate1506.
- Schipper L., Unander F., Marie-Lilliu C. (2000) *The IEA Energy Indicators: Understanding the Energy-Emissions Link*. Paris: International Energy Agency. Режим доступа: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.iea.org/ContentPages/26167538.pdf, дата обращения 06.07.2018.
- Schmitz A. (2003) *Elitenwandel und politische Dynamik in Kasachstan (SWP-Studie 39/2003)*. Berlin: Die Stiftung Wissenschaft und Politik (SWP). Режим доступа: http://www.swp-berlin.org/common/get_document.php?asset_id=179, дата обращения 06.07.2018.
- Schmitz A. (2009) *Kasachstan: neue Führungsmacht im postsowjetischen Raum? (SWP-Studie 2009/S07)*, Berlin: Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit. Режим доступа: https://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/studien/2009_S07_smz_ks.pdf, дата обращения 06.07.2018.
- Steinmüller K. (2012) Wild Cards, Schwache Signale und Web-Seismographen // *Focus Jahrbuch 2012 / Ed. W.J. Koschnick*. P. 1–26. ISBN 9783981088793.
- Sterman J. (2000) *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: McGraw Hill.
- Vester F., von Hesler A. (1980) *Sensitivitätsmodell*. Frankfurt-am-Main: Regionale Planungsgemeinschaft Untermain.
- Walsh C.L., Glendinning S., Castán-Broto V., Dewberry E., Powell M. (2015) Are wildcard events on infrastructure systems opportunities for transformational change? // *Futures*. Vol. 67. P. 1–10. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.01.005>, дата обращения 04.12.2018.
- WEC (2003) *Drivers of the Energy Scene*. London: World Energy Council. Режим доступа: <http://www.worldenergy.org/publications/315.asp>, дата обращения 06.07.2018.
- WNA (2018) *Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan*. London: World Nuclear Association. Режим доступа: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx>, дата обращения 06.11.2018.
- Z_Punkt (1986) *Was wir für Sie tun können*. Режим доступа: <http://www.z-punkt.de/de/profil>, дата обращения 04.12.2018.