

УДК 330.101.3: 330.15:330.42

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ СИНТЕЗА ЗНАНИЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ¹

А. К. Черкашин

В статье показаны возможности метатеоретического подхода для междисциплинарного анализа и синтеза экономического знания на интертеоретической и математической основе через расслоение многообразия (среды) связи факторов обеспечения хозяйственной и научной деятельности. Выделены основные уравнения факторной зависимости и временной изменчивости для определения вида оценочных функций качества жизни и моделирования инновационных процессов. На

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект «Инновационное развитие, территориальная организация и рост качества жизни населения в Сибири и Арктических регионах России», № 16-02-00570(а).

примере понятия стоимости продемонстрировано расслоение экономических знаний по интертеориям. С использованием закономерностей политико-экономических отношений показана процедура интерпретации общесистемных понятий и аксиом в терминах концепции устойчивого развития. Аналитическое расслоение многообразия географической среды и функциональное сравнение слоев дают возможность учесть в экономических моделях особенности местоположения, позволяют дать оценку хозяйственных условий деятельности, сравнить экономические слои (регионы, отрасли), учесть территориальную организацию пространства. Особенности подхода проиллюстрированы на примере связи инвестиций и объемов производства в регионе.

Ключевые слова: метатеоретический анализ и синтез знаний, модели расслоенного пространства, многообразия связи данных и знаний, многослойные комплексы, экономические ограничения формализмов, уравнения связи и динамики, оценочные функции, инновационное развитие, учет состояния географической среды, интертеории.

Введение

В текущем плане фундаментальных научных исследований РАН предусмотрено построение синтетической теории экономики знаний с разработкой математического и эконометрического инструментария, а также теоретических и методологических основ анализа, моделирования и прогнозирования качества и образа жизни населения на федеральном и региональном уровнях. Эта теоретическая основа предназначена для анализа и моделирования влияния экономики знаний на структурные сдвиги в производстве и обществе, на экономический рост и повышение качества жизни населения. Разработка единой системной теории и моделей социально-экономического синтеза для объяснения функционирования, эволюции и взаимодействия социальных и экономических объектов разного масштаба необходима для формирования стратегии трансформации социально-экономического пространства и территориального развития России, включая комплексное развитие Сибири, Севера и Дальнего Востока [20]. В таких исследованиях должна учитываться роль пространства в процессе модернизации России, природного и социально-экономического потенциала регионов в принципиально новых условиях. Для решения этих задач необходимо коренное обновление научного практически значимого знания, в котором важное место занимает представление о территориальной организации общества, адекватной объективным условиям развития страны, поскольку на новой стадии и для нового типа развития социума и экономики требуется новая конфигурация пространства [12]. Актуальной становится разработка метатеории геопространственных наук, объединяющей знания географии, экономики и социологии и объясняющей связи территориальной организации, инновационного развития и качества жизни населения на разных масштабных уровнях.

Постановка задачи и пути решения

В географических исследованиях фактологический синтез является важной страноведческой процедурой для формирования целостных образов территорий, выделения индивидуальных районов и их типизации. В экономической науке концептологический синтез направлен на объединение разрозненных знаний в единую концепцию или теорию и позволяет выводить из сформулированных базовых принципов (аксиом) новое экономическое знание [18]. Так, например, Л. Урвик [45] смог свести в единое целое подходы известных представителей классической школы менеджмента, учтя многообразие реальных управленческих ситуаций, благодаря чему теория менеджмента приобрела систематизированный вид. Одной из форм синтеза знаний является их системное обобщение, что в экономической науке выражается в формировании системной парадигмы [9, 11], призванной интегрировать положения традиционной экономической неоклассической, институциональной и эволюционной теорий на базе общей теории систем и пространственно-временного анализа [10].

Синтез и анализ логически проявляется во взаимодействии индуктивного и дедуктивного типов мышления, направленных на формирование аксиоматических теорий для генерации нового знания. Полная по содержанию теория как конечная цель научного исследования призвана объединить и объяснить явления, которые могут быть выражены (проинтерпретированы) на языке этой теории. Создание такой объемлющей, сквозной интертеории требует в процессе синтеза знания опираться на междисциплинарный подход, когда разнокачественные процессы и явления описываются на одном системном терминологическом языке, в одной системе понятий. В этом смысле экономическая теория рассматривается как часть теории, однообразно объясняющей закономерности в структуре «природа — хозяйство — население». Это выражается в своеобразном

метасистемном подходе [2], когда существование общества рассматривается как единство трех главных функциональных элементов: природной среды, социума и экономики. Аналогичный подход развивается в рамках геозосоциоэкономической модели с позиции системности [22]. Метасистемный переход считается универсальной процедурой естественного и искусственного синтеза разнообразных элементов в процессе образования нового качества — метасистемы [24]. В частности, для решения трудных задач научных исследований необходимо разрабатывать методы «метанауки», т. е. теории о том, как строить теории.

Постановка и решение подобных проблем напрямую связаны с анализом соотношения теоретической экономики и экономической теории. Теоретическая физика, например, призвана создавать физические теории и в этом смысле является метатеорией физических знаний. Ее особенностью является широкое использование математики для формализации выявленных природных закономерностей, так что теоретическая физика и математическая физика являются почти синонимами, но теоретическая физика математически формирует основания физической науки в виде принципов существования и изменения реального мира. Например, известный курс теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица [13] начинается с изложения методов описания физических процессов и явлений, вариационного принципа наименьшего действия и принципа относительности движения. На этой основе выводятся основные уравнения механики. Так и теоретическая экономика выступает в качестве метатеории экономических теорий — метасистемного синтеза знаний, давая возможность в математических терминах строить интертеории, описывающие в соответствующих системных терминах известные факты из сквозной социально-эколого-экономической предметной области и позволяющие делать выводы.

Выделяется особый метатеоритический уровень теоретического знания, общий для всех содержательных наук и направленный на объяснение разнообразных процессов и явлений действительности с единых позиций математической науки с генерацией сквозных системных интертеорий различных предметных областей исследований природы, хозяйства и населения. На этом уровне дается междисциплинарное описание реальности и знания о реальности с некоторых универсальных позиций — оснований науки, необходимых для

представления разнокачественных систем в математических терминах.

Проявляется несколько метауровней научной информации [27]: данные, знания, модели, теории, метатеории, математика. В этой последовательности каждая следующая стадия формируется как метаобобщение (среда) предыдущей, как типы существования более простой информации, как инновационный вклад (через синтез) в развитие знания и как источник новых знаний (через анализ). Например, знания возникают как метаданные, типы данных и обычно соответствуют атрибутивному понятию — концепту. Модели — это метазнания, концепции, устанавливающие связи понятий. Теории — типы моделей, метамодели, позволяющие генерировать новые модели познания. Метатеории теоретического знания объясняют, как формируются теории и содержащиеся в них понятия и законы. Для решения этих задач используются абстрактные средства математики, которая проявляется на всех метауровнях: математической статистики при обработке данных, математическом моделировании и в математических теориях типа математической физики или экономики. Аналогично эмпирический подход, основанный на фактологических данных, реализуется на других метауровнях в форме эмпирических обобщений, например, в виде эмпирических моделей или теорий. Сходные взаимосвязи метауровней прослеживаются при выделении основ современной теоретической экономики, таксономии экономических теорий по их эпистемологическому статусу и прагматическим функциям [41].

На выделенном метатеоретическом уровне на рубеже математики и содержательной науки со стороны математики происходит инновационный процесс — формальный анализ связей фундаментальных понятий, а со стороны научного знания — универсальный синтез накопленных знаний. Причем теоретическое знание не просто объединяет знание теорий в типы теорий, а формирует общенаучный уровень и стиль теоретического мышления в виде метасистемных генерализаций знаний для формирования системных интертеорий различного содержания, обобщает все теоретические знания в единую систему науки. На этом уровне и физическое, и экономическое, и географическое, и любое иное знание получает общие научные основания. Для того чтобы научно работать на этом уровне, необходимо оперировать адекватным математическим аппаратом, понимать содержательный смысл ис-

пользуемых формальных терминов, тем самым связывая научные концептуализации с формализмами математических выражений для поддержания тенденций развития науки в этой области. Ярким примером метатеоретического мышления являются работы Л.В. Канторовича [7] по линейному программированию — теории и методам решения экстремальных задач, формализуемых в многомерном пространстве характеристик системами оценочных линейных уравнений и ограничивающих неравенств. Невозможно однозначно определить, относится ли данный подход к экономической теории или инновационной, прикладной математике, методы которой используются в различных областях науки.

Более столетия прослеживается тенденция геометризации теоретического знания, особенно в физике [19], где интерпретация всех типов взаимодействий как искажений искривленной расслоенной геометрии пространства-времени — центральная идея современной концепции физики [17]. Здесь используются формализмы дифференциальной геометрии и топологии, теории расслоенных векторных пространств и связанные с ними представления, которые давно предлагается применять в теоретической и математической экономике [15, 43, 44]. Разные направления научных исследований объединяет сходная математика и логика изложения фундаментальных знаний, причем свойства исследуемых пространств могут значительно отличаться, относиться к разным геометриям, число которых достаточно велико.

Математические основания исследования

Изучение различающихся социально-экономических явлений [30–34] оказывается близким по общей постановке задачи и используемым математическим методам их решения средствами дифференциальной геометрии, что позволяет синтезировать накопленный опыт на метатеоретическом уровне теоретической экономики и социологии с позиций математики.

Основным объектом дифференциальной геометрии являются гладкие, дифференцируемые многообразия M — локально евклидовы пространства, т. е. пространства, локально похожие на плоскости, или карты-слои-образы участков многообразия. Многообразия обобщают представления о поверхности, например, поверхности земного рельефа, проявляющегося в объемлющем его (тотальном) трехмерном пространстве-времени. Поверхности

определяются функциями $F = F(x)$ переменных x в базовых координатах $x = \{x_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) n -мерного пространства или локальных координатах $y = \{y_i\}$, заданных в точках $x \in M$ поверхности — многообразия M . Переменные x являются не только координатами положения в физическом пространстве-времени, но и в пространстве любых наблюдаемых признаков, например, факторов производства. Функция $F(x)$ рассматривается как любая целевая функция эффективности (проявленности) деятельности, выраженной в процессах и явлениях, например производственная функция или функция полезности. Она сопоставляет каждой точке пространства x значение из ряда действительных чисел. С математической точки зрения неважно, как содержательно задается функция, описывающая многообразие, и даже какой вид имеет эта функция, но существенно, чтобы эта функция и связанные с ней функциональные отображения были в абстрактном смысле непрерывно дифференцируемы, что позволяет использовать для математического анализа арсенал методов дифференциального исчисления.

Для любой выпуклой дифференцируемой функции $F(x)$ справедливо касательное преобразование Лежандра $F(x) \rightarrow \Phi(a)$, переводящее функцию исходного набора переменных $x = \{x_i\}$ в функцию $\Phi(a)$ двойственных, сопряженных, дуальных переменных $a = \{a_i\}$:

$$\Phi(a) = \sum_{i=1}^n a_i x_i - F(x), \quad a_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}. \quad (1)$$

Отсюда функция $F(x)$ локально аппроксимируется уравнением плоскости

$$F(x) = \sum_{i=1}^n a_i x_i - \Phi(a), \quad (2)$$

где $b = -\Phi(a)$ — в общем случае переменная величина, и $F(0) = b$ — свободный член линейного неоднородного уравнения (2) относительно набора переменных $x = \{x_i\}$. Это позволяет по пространственным и временным рядам данных $x(t)$ статистически восстанавливать вид функции $\Phi(a)$. Уравнение (2) задает обратное и преобразование Лежандра $\Phi(a) \rightarrow F(x)$, дающее возможность воспроизводить вид функции $F(x)$.

Последнее свойство можно понимать так, что существует некоторое неявленное, существенное пространство $a = \{a_i\}$, содержащее информацию $\Phi(a)$ о реальных связях и процессах $F(x)$. С конструированием по определенным принципам модели $\Phi(a)$ появляется возможность синтезировать зависимость $F(x)$, а с пе-

реходом от $F(x)$ к $\Phi(a)$ — исследовать фундаментальные свойства исходной системы. Такая возможность давно используется в физике при переходе от функции Лагранжа (лагранжиана) $F(x)$ к функции Гамильтона (гамильтониану) $-\Phi(a)$, где под x понимаются компоненты скорости динамической системы, а a соответствует импульсам движения. Гамильтониан дает наглядное толкование свойствам механических систем, выделяет реальные траектории перемещения материальных тел в классической и квантовой физике.

В математической экономике двойственные переменные имеют смысл предельных показателей $a = \{a_i\}$ типа предельной производительности по факторам производства, замыкающих затрат, цены ресурсов и товаров, акселераторов и мультипликаторов инвестиций и др. Внутренняя чувствительность a экономической системы к изменению факторов x определяет эффективность $F(x)$ работы системы, которая при $a_i = 0$ достигает экстремальных значений $F(x) = -\Phi(0)$. В том случае, если $F(x)$ (для функции одной переменной) имеет экстремальное значение в точке x_m , то при отрица-

тельном изменении a_i по фактору $\frac{\partial a_i}{\partial x_i} = \frac{\partial^2 F}{\partial x_i^2} < 0$

экстремум $F_{ex}(x_0)$ будет максимумом, на чем, в частности, основан закон убывающей предельной полезности в области возрастания ($a_i > 0$) общей полезности $F(x)$.

Расширенная трактовка переменных $x = \{x_i\}$ как скоростей, функций многих переменных, включая управляющие воздействия, а также понимание $\Phi(a)$ как целевых функций разного содержания (функции Гамильтона, Понтрягина) давно получили методологический статус научных оснований для объяснения процессов и явлений на уровне теоретического анализа и синтеза знаний [3, 5]. Развитие этого направления в последние десятилетия и в перспективе с дальнейшим углублением понимания наблюдаемых и информационных связей позволит усовершенствовать процесс познания сложных явлений. При этом необходимо опираться на выявленные на этой основе математические, физические, экономические, географические знания и знания других наук.

В связи с этим отметим, что экономические свойства переменных накладывают естественные ограничения на значения переменных, например, объемы производства $F(x)$ и значения факторов производства x должны быть неотрицательными величинами. Вместе с тем в экономических исследованиях не ис-

ключены негативные оценки, особенно когда расчеты проводятся относительно принятых социальных норм, например, при определении доходов ниже прожиточного уровня. Учет таких особенностей позволяет проводить сравнительный анализ экономических явлений во временном и пространственном аспектах.

С этой целью находится линейная аппроксимация оценочной функции $F(x)$ в окрестности точки $x = x_0$, соответствующей некоторой норме, а геометрически — строится касательная (гипер)плоскость к многообразию $F(x)$:

$$\begin{aligned} \bar{F}(x, x_0, a) &= \\ &= F(x_0) + \sum_{i=1}^n a_i (x_i - x_{0i}), a_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}(x_{0i}). \end{aligned} \quad (3)$$

Значения производных $a = \{a_i\}$ рассчитываются в точках касания $x_0 = \{x_{0i}\}$ многообразия $F(x)$. Значения a_i определяют ориентацию плоскости в пространстве X . Множество гиперплоскостей $\bar{F}(x, x_0, a)$ рассматривается как касательные слои $TF(x_0)$ к многообразию $F(x)$ в разных точках $x = x_0$ — элементах базы расслоения $F(x_0)$. Слои $TF(x_0)$ заполняют объемлющее пространство, окружающее многообразие, порождают новое пространство анализа (пространство расслоения TF , или просто расслоение), связанное с элементами многообразия $x = x_0$. Точка x_0 — единственная, находящаяся и на многообразии $F(x_0)$, и в слое $TF(x_0)$, т. е. поверхность многообразия является огибающей множества слоев и может быть восстановлена на основе особенностей расслоенного пространства. На основе свойств огибающей семейства функций, имеющих общие с этой огибающей касательные слои, строится прогноз научно-технического прогресса [37–38].

Слои $TF(x_0)$ в основном лежат вне многообразия $F(x)$ и связаны с соответствующей точкой многообразия $F(x_0)$ и обладают различающимися свойствами (рис.). Понятно, что все свойства слоя однозначно задаются особенностями касательного элемента x_0 . Все слои считаются независимыми, непересекающимися в касательном пространстве двойной размерности $TF = F(x) \times TF(x)$. С другой стороны, все слои становятся подобны, эквиваленты при совмещении их центров x_0 и вращении плоскости $TF(x_0)$ вокруг этого единого центра. В этом смысле все слои $TF(x_0)$ являются гомотопически эквивалентными, т. е. изменяются при переходе от одной точки касания к другой. Они образуют комплекс функционального подобия $TF(x_0) \leftrightarrow TF(\bar{x}_0)$ при совмещении центров $x_0 \leftrightarrow \bar{x}_0$ и соответственно наклонов плоскостей $a \leftrightarrow \bar{a}$. Комплекс слоев — это поле связности

(комплекс) пространства расслоения, которое описывает, как соседние слои связаны с помощью симметричных поворотов, например, в форме территориальной организации [30]. Таким образом, в пространстве расслоения TF имеется множество связанных копий каждого слоя $TF(x_0)$, определенного разными x_0 [19]. Существует непрерывное отображение $TF \leftrightarrow F$, стягивающее каждый слой $TF(x_0)$ в точку x_0 пространства $F(x_0)$ и растягивающий (выводящий) слой из этой точки. Такие особенности позволяют переходить из слоя в слой, сравнивать слои и инновационно генерировать слои с новыми свойствами на базе новых точек касания x_0 . В этом смысле понятие «расслоение» имеет более широкую трактовку и научное применение [25, 26], хотя особенности подхода лучше и наглядней прослеживаются на примере количественных соотношений вида (3).

В уравнении (3) переменные $x_0 = \{x_{0i}\}$ отражают тип базовой ситуации, формирующей слой определенного вида с целевой функцией $\bar{F}(x, x_0, a)$, равной в центре слоя $F(x_0)$. Эта величина соответствует экстремальному значению $\bar{F}(x, x_0, a)$ при $a = 0$. Величина двойственной функции $\Phi(a)$ в данном случае равна

$$\Phi(a) = -F(x_0) + \sum_{i=1}^n a_i x_{0i}. \quad (4)$$

Это линейная функция относительно a , изменчивость которых в пространственных и временных рядах дает возможность восстановить для каждой системы точку касания x_0 , а, следовательно, тип ее существования, а при необходимости — трансформацию типов по стадиям развития.

Для рассмотрения свойств системы имеет смысл перейти от постоянных значений a к переменным и от исходных $x = \{x_i\}$ к смещенным величинам $y = \{y_i\}$, $y_i = x_i - x_{0i}$, $f(y) = \bar{F}(x, x_0, a) - F(x_0) - C$, где C — некоторая произвольная константа. Здесь y — вектор с компонентами y_i по локальным координатам и с началом координат в точке $x_0 = \{x_{0i}\}$ тотального пространства на многообразии. Величина y_i соответствует мере отклонения характеристик системы x_i от их локальной нормы x_{0i} . Оценочная функция упрощается и соответствует уравнению Эйлера для однородных функций первого порядка $f(sy) = sf(y)$, зависящих от масштаба s проявления независимых переменных:

$$f(y) = \sum_{i=1}^n a_i y_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i. \quad (5)$$

Она описывает изменение целевой функции как в окрестности точки x_0 , так и во всем

слое $TF(x_0)$, формирующемся на основе инвариантной позиции x_0 . Выражение (5) свертывает компоненты вектора $y = \{y_i\}$ в значение оценочной функции $f(y)$. Функция поверхности многообразия $F(x)$ локально ограничивается классом однородных функций первого порядка вида $f(y)$ в смещенных переменных y . Такая функция используется в качестве средства косвенного измерения в виде квалиметрической модели качества жизни населения [28, 32].

Аналогичный подход формируется в терминах динамических моделей [32], отражающих закономерности естественного перемещения образов объектов в многомерном пространстве различных временных, географических и иных количественных характеристик состояния с помощью обобщенного уравнения динамики МакКендрика — Фон Фестера [39, 42]. Метатеоретической основой уравнения динамики является производная изменения аналитической функции $G(t, x(t))$ вдоль пути t , построенного на многообразии $F(x)$ [4, с. 23]:

$$\begin{aligned} \frac{dG}{dt} &= \frac{\partial G}{\partial t} + v_1 \frac{\partial G}{\partial x_1} + v_2 \frac{\partial G}{\partial x_2}, \\ v_1 &= \frac{dx_1}{dt}, v_2 = \frac{dx_2}{dt}, \end{aligned} \quad (6)$$

где v_1, v_2 — скорости изменения частных характеристик системы x_1 и x_2 . Уравнения такого вида при $\frac{dG}{dt} = E(t, x, G)$, где $E(t, x, G)$ — баланс внешних источников и стоков векторного пространства, например, описывают распространение инноваций [15], пространственное развитие экономики в широком смысле, транспортные потоки и в целом логистические процессы разного содержания $G(t, x(t))$, в частности, связанные с формированием риска [31].

В локальной области многообразия состояния среды в качестве функции изменений $E(t, x, G)$ можно использовать оценочную функцию $f(y)$, раскрытую по уравнению (5) через воздействующие переменные $y = x - x_0$. Одновременное использование динамического и квалиметрического подходов позволяет ставить и решать многие исследовательские задачи, например, путем естественного объединения динамической модели диффузии нововведений и факторных моделей размещения производительных сил [1]. Давно известен и широко используется метод огибающих кривых для прогнозирования объективных закономерностей развития систем [37, 38]. Огибающая линия или поверхность $F(x)$ касается линий (поверхностей) роста показателей производства продукции разного

качества (типа) $G(t, x, x_0)$ на разных этапах t_0 научно-технического прогресса x_0 . Огибающая поверхность $F(x)$ есть многообразие с касательными $f(x)$ в локальных окрестностях смещенных характеристик u . Причем функции роста производства G имеют ту же касательную $f(y)$ в точке $u = x - x_0$, что и огибающее многообразие. Инновационный процесс описывается уравнениями динамики (5) в пространстве времени t и оценочной функции $f(y) = E(t, y, G)$. Таким образом, метод прогнозирования с помощью огибающих кривых зависит от правильного выбора интегрального показателя $f(y)$ и функции $G(t, x, x_0)$, комплексно характеризующих развитие научно-технической системы и описывающих инновации как одновременное изменение системы и ее среды.

Уравнение Эйлера (5) и его решения имеют ряд интересных свойств, полезных для сравнительных количественных исследований (см. рис.). Заметим, что уравнение (5) обладает высокой степенью универсальности, поскольку в этом уравнении нет ни одного коэффициента и оно не зависит от размерности переменных. Двойственные переменные a не зависят также от масштаба социально-экономических явлений.

Особенно важно то, что касательная плоскость $TF(y)$, описываемая уравнением (5), к поверхности $f(y)$ в любой его точке u проходит через начало координат $u = 0$, или $x = x_0$ (см. рис., б) [8], что является формальным основанием восстановления положения центра $x = x_0$ с использованием уравнений (2) и (4). Практическая реализация такой возможности на примере экономических рядов данных становится эмпирическим доказательством справедливости ограничительных гипотез, с помощью которых от математических формул переходим к метатеоретическим схемам синтеза знаний.

Дифференциальному уравнению (5) соответствует система из n независимых первых интегралов — функций, постоянных на любом решении этих уравнений

$$k_i = f/y_i, k_{ij} = y_j/y_i, i \neq j, \quad (7)$$

и соответствующих инвариантным характеристикам системы типа относительных экономических индексов (производительность труда, доходы на душу населения, отраслевые пропорции), причем рассчитываемых с учетом смещения x_i относительно x_{0i} : $y_i = x_i - x_{0i}$. В частности, по Вальрасу предельная полезность прямо пропорциональна интенсивности потребности и обратно пропорциональна коли-

честву данных (доступных) продуктов. Уровень «доступности» определяется количеством произведенной продукции x_i и ее отчужденной по разным причинам части x_{0i} (на хранение, иное потребление), характеризующей социально-экономическую среду, включая политический режим.

На основе (7) при $x_i \neq 0$ находятся решения (5), например, в уравнении Кобба — Дугласа проявляются зависимости:

$$f(y) = A \prod_{i=1}^n y_i^{\alpha_i} = A y_i \prod_{j=1}^n \left(\frac{y_j}{y_i} \right)^{\alpha_j},$$

$$i \neq j, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad (8)$$

где $f(y)$ — объем выпуска и y_i — факторы производства; A — технологический коэффициент; α_i — коэффициент эластичности по фактору y_i .

Расслоение пространств на многообразиях — это не только абстрактная геометрическая трактовка экономических и других научных закономерностей, но и общий методологический подход к решению задач анализа и синтеза знаний.

Экономико-географические модели расслоения

Принимая во внимание изложенное, можно развивать обобщенное теоретико-множественное представление о расслоении реальности и знаний о ней. В общем случае расслоение представляет собой сортировку элементов множеств по образцам и связей элементов с образцами (основами, инвариантами, архетипами, идеалами, стандартами). В расслоении $\pi: X \rightarrow B$ участвуют: 1) расщепляемое множество (тотальное пространство) X ; 2) база расслоения (многообразие) $B = \{b\}$; 3) проекция расслоения π , ставящая в соответствие элементам X элементы множества B . Обратная проекция $\pi^{-1}: B \rightarrow X$ превращает пространство X в расслоенное пространство $Y = \{X_b\}$, где $X_b \in X$ и $X_b \in Y$ — слой X_b над элементом базы $b \in B$ в X . Расслоение выражается в типизации — разбиении множества X на непересекающиеся (независимые) подмножества $Y = \{X_b\}$ — классы эквивалентности по особенностям их связи с элементами базы B . В геометрической трактовке пространством расслоения является всеобъемлющее пространство, а базой расслоения — многообразие связи показателей этого пространства, которое трактуется как среда расслоения. Слои, с одной стороны, заполняют исходное пространство, а с другой — формируют новое расслоенное пространство в два раза большей размерности. Это происходит напо-

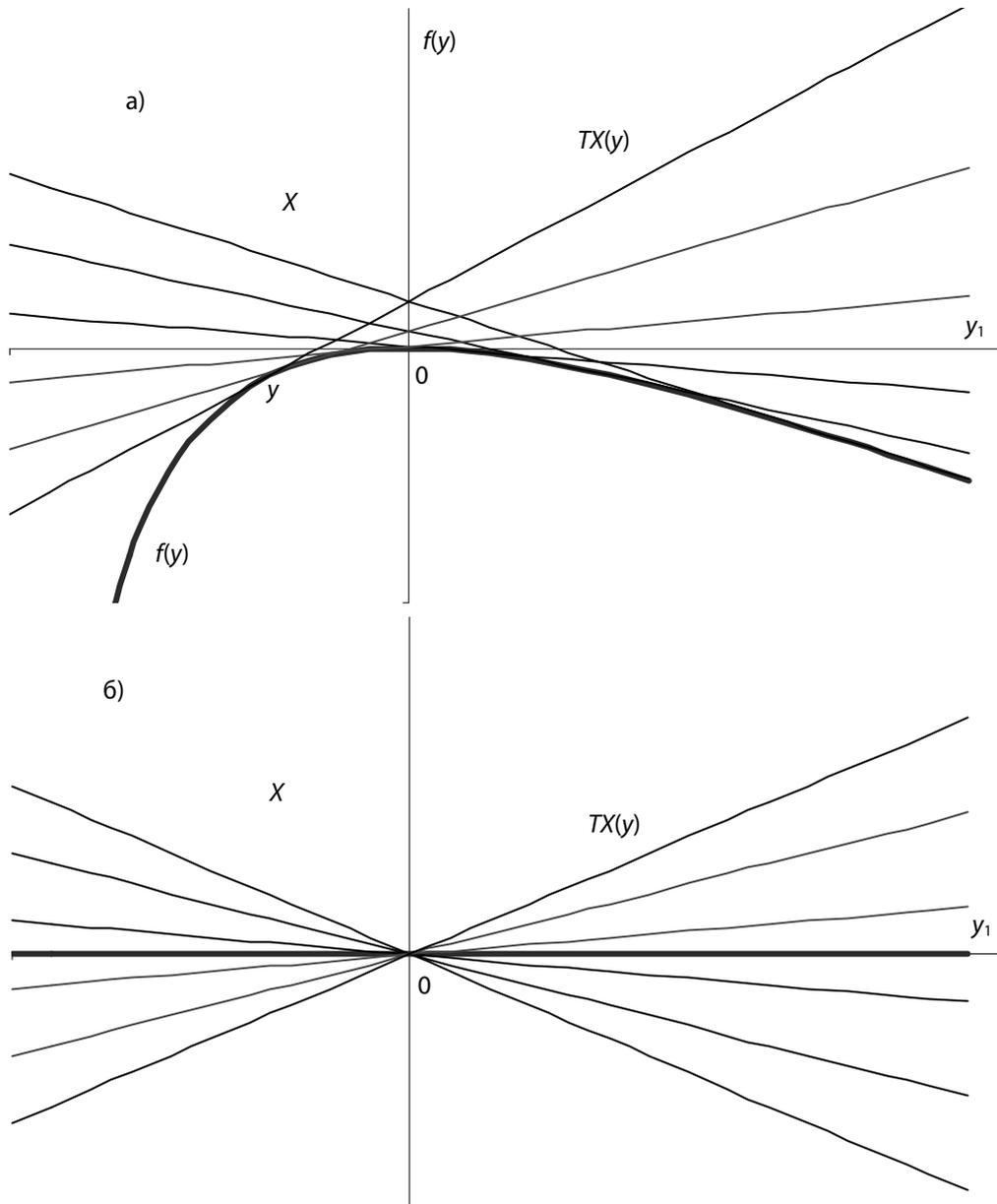


Рис. Касательные $TX(y)$ к многообразию $f(y) = -y_1^2/y_2$ в точках $y = x - x_0$ пространства X при монотонно изменяющемся значении y_2 не пропорциональном переменной y_1 , (а), и пучок касательных $TX(y)$, проходящих через начало координат (б). Пропорциональная зависимость соответствует первым интегралам и в любом случае дает пучок линий связи $f(y) \sim y_1$

добие того, как в конкретной географической среде идет заполнение географического пространства слоями деятельности и формируется новое пространство реализованных возможностей. Каждый слой можно рассматривать в качестве координаты типа (формы) самостоятельного существования.

Теоретико-множественная интерпретация расслоения $\pi: X \rightarrow B$ позволяет лучше осознать фундаментальные принципы послойного представления знаний в обобщенных понятиях. Необходимо разными способами выделять многообразие базовых знаний с элементами расслоения и соответствующие век-

торы пространства представления знаний. В процессе синтеза экономических знаний, т. е. наполнения конкретными знаниями теоретических слоев, часто сначала выделяются абстрактные первичные понятия, а затем соответствующие векторы причинно-следственных связей, например, векторы, указывающие на последовательность иерархии экономических систем от макро- к мезо- и микроэкономическим уровням, от глобального к локальному моделированию связей и процессов. Обычно это реализуется в концептуальных схемах экономической науки в виде ориентированных графов, где стрелки соответствуют векторам, а

вершины графа — объектам или предметам исследования. В иерархических графических схемах получается так, что типы объектов одного уровня образуют таксономический слой, связанный (касающийся) только с одной таксономической единицей более высокого уровня. По этой причине иерархическая классификация является многоуровневым расслоением таксонов разного порядка по таксономическим категориям. Базой расслоения являются таксономические единицы более высокого уровня, которые выявляются по индуктивной схеме синтеза знаний путем обобщения свойств таксономических единиц нижнего уровня.

Помимо задач классификации процедуры расслоения реализуются при решении других задач экономики и географии, например, в задачах районирования или функционального зонирования. Районы формируются вокруг центров притяжения и управления, что наглядно прослеживается в образовании административных районов. Согласно классической модели «центр — периферия» проявляется территориальная специализация хозяйственной деятельности, отраслевое деление (расслоение) экономики. Уравнение (3) подчеркивает основную идею центр-периферийной организации, где выделяются функции центра $F(x_0)$ и дополняющие их периферийные функции, роль которых повышается $a_i > 0$ или понижается $a_i < 0$ с ростом факторного расстояния $y_i = x_i - x_{0i}$ от параметров состояния центра. Для реализации функции выбора центрального положения $x_{0i} = x_i - y_i$ необходимо из параметров x_i конкретной территориальной системы вычлечь изменчивую часть y_i , определяющую особенности географического положения, что позволяет рассматривать территорию в пространственной системе более высокого порядка, трактуемой как территориальное многообразие, и связанную с ней территориальную организацию [30]. На многообразии выделяются населенные пункты — центры административно-хозяйственной деятельности, которые, согласно модели В. Кристаллера (см. в [6, с. 52–54]), организуются в каркасно-сетевую структуру с иерархическим устройством, сложность которого определяется уровнем социально-экономического развития территории.

Центр-периферийный слой, надстраивающийся в границах района вокруг его центра, является пространственно открытой системой, косвенное влияние которой теоретически распространяется до бесконечности и имеет за границами района экстерриториальную форму

существования. Здесь надо понимать, что всякое влияние политики и экономики одной страны на соседние и дальние страны должно иметь экстерриториальную природу, что подразумевает невмешательство в жизнь и деятельность местных сообществ. Эта идеальная ситуация с точки зрения процедур расслоения является метатеоретическим законом многомерного сосуществования, нарушение которого приводит к конфликтным ситуациям.

Особыми экстерриториальными качествами должно обладать отраслевое производство, подразумевая под этим минимизацию ущерба местной природе и населению и распространение продуктов производства на обширные территории. Разные отраслевые слои специализации базируются на общих ресурсах территории x_0 , потребляя особый вид сырья x_{0i} , которое последовательно перерабатывается на разных этапах технологического процесса в конечную продукцию разного качества и экспортируется в другие регионы. Производства разных отраслей взаимосвязаны, увязаны в территориальной организации через обмен промежуточными и конечными результатами деятельности.

Экстерриториальная продукция — продукция высокого качества $x_i \rightarrow \max$, пользующаяся повышенным спросом $F(x_i) \rightarrow \max$, поступающая на глобальный рынок из определенного района в ограниченном количестве и имеющая высокую цену предложения и реализации. Экстерриториальные товары и услуги — альтернативные товары и услуги уникального качества с инновационным содержанием, не производящиеся в данной местности. Понятно, что при решении задачи регионального развития соотношение территориального и экстерриториального выходит на первое место и связано с изменением региональной пропорции добывающих, обрабатывающих отраслей и развитием международной торговли, в частности, дистанционно через интернет-магазины с заказами онлайн, с выбором способа оплаты и доставки товара и услуги. При этом подразумевается открытость (сквозной характер) рынков для экстерриториального обмена и относительная территориальная закрытость рынков для создания условий сбыта товаров местного производства и потребления в зоне контакта отраслевого слоя и населения района.

Территорию относительно экономических явлений имеет смысл трактовать как многообразие географической среды, вкладывая в это понятие и природное, и социально-экономическое содержание — комплекс условий жизни

и деятельности, необходимый для становления и развития экономики. Это подразумевает наличие ресурсов, эффективного территориального управления, обустройства территории — развитой транспортной и социальной инфраструктуры, в удобных пунктах которой начинают формироваться хозяйственные слои, экстерриториально распространяющие свою деятельность и ее результаты на окружение. Условия размещения x_0 определяются видом целевой функции (5)

$$F(x) = F(x_0) + \sum_{i=1}^n a_i(x_i - x_{0i}), a_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}(x_i), \quad (9)$$

а точнее, ее изменчивостью по частным показателям эффективности производства $a = \{a_i\}$ в местах с экстремальным значением оценки $\Phi(a)$, показывающем в уравнении (4) суммарный эффект производства в базовых условиях x_0 за вычетом платежей $F(x_0)$ за качество географической среды. Влияние факторов производства $x = \{x_i\}$ на конечный результат оценивается в смещенных относительно средовых характеристик (условий) $x_0 = \{x_{0i}\}$ показателей $y_i = x_i - x_{0i}$, т. е. в локальных координатах $u = \{y_i\}$ каждого экономического слоя $TF(x_0)$. Степень связи слоев, описываемых функциями вида (9), оценивается по значению определителя Якоби, зависящему от переменных $a = \{a_i\}$ [34].

Уравнение (9) указывает на способ разделения функций пространственной экономики и экономической географии [29], которые могут быть представлены в симметричном виде

$$F(x) - \sum_{i=1}^n a_i x_i = F(x_0) - \sum_{i=1}^n a_i x_{0i}, \quad (10)$$

где левая часть отражает дифференциальные связи экономических показателей, а правая — аналогичные связи показателей состояния географической среды с учетом возможности ее изменения естественным путем и по программам регионального развития инфраструктурной базы. На практике все расчеты по показателям ведутся с неосознанным или реже с обоснованным средовым смещением в универсальной форме (5) взаимосвязи локальных координат $u = \{y_i\}$. Введение географических поправок позволяет ставить и решать более сложные экономические задачи с учетом неоднородности территории страны. Вместе с тем универсальная форма дает возможность решать задачи в общем виде, разрабатывать теории и модели безотносительно средового влияния, а потом ввести соответствующие поправки для приближения решений к местной ситуации.

Многообразия, слои и векторы, как показывает опыт теоретического исследования, можно трактовать в широком смысле. Например, в (7) первый интеграл $k_{ij} = y_j / y_i$ устанавливает причинную связь между соотношением (индексом) y_j / y_i и константой k_{ij} : $k_{ij} \rightarrow y_j / y_i \rightarrow k_{ij}$ — эти отображения можно считать вектором, представляющим закон связи. Поскольку независимые первые интегралы формируют базис множества решений $f(y)$ (8) дифференциальных уравнений (5), они порождают некоторое векторное пространство, элементами которого являются законы и следствия из них. Экономические многообразия таким образом могут быть представлены множеством индексов и их значений, индивидуальных для каждого региона. Значения индекса восстанавливаются по данным частной связи $y_j = k_{ij} y_i$ для смещенных переменных $y_i = x_i - x_{0i}$. Так для каждого регионального значения индекса k_{ij} на многообразии устанавливается вектор $k_{ij} = y_j / y_i$ и связь $y_j = k_{ij} y_i$. Многообразие связи индексов вида $k_i = P(k_{ij})$ формирует векторное поле проявления законов по разным направлениям и помогает восстановить конкретные формы решения универсального уравнения (5) [33]. Такой подход аналогичен идеям теории размерности и подобия, позволяющим по сочетанию первых интегралов уравнения Эйлера находить закономерные связи физических величин и законов [21].

Появляется возможность рассматривать базовые законы теории в качестве векторов пространства знаний $x \in X$, а сами теории как слои $TF(x_0)$, проходящие через эти векторы $u = x - x_0$ и касающиеся многообразия связи знаний $F(x)$ в точках x_0 , соответствующих инвариантам теорий. В итоге пространство знаний расслаивается на многообразные связи инвариантов $F(x_0)$. Согласно (9) теории состоят из базового знания $F(x_0)$ и выводимого знания $x_0 \rightarrow x$ в терминах данного слоя знаний $TF(x_0)$. Теоретические слои сравнимы (изоморфны) при сопоставлении их инвариантов и векторов — базовых законов (аксиом), связывающих базовые понятия друг с другом и с инвариантами данной теоретической системы. Отсюда появляется возможность индуцировать теории по образу одной из них на основе известных наборов понятий и законов их связей. Эта возможность реализована в процедурах полисистемного анализа и синтеза знаний [25, 26], позволяющих дать многоаспектное интертеоретическое аксиоматическое описание реальности в системных понятиях разных теорий.

Полисистема теорий и моделей

Концепция полисистемного расслоения утверждает, что для объяснения реальности недостаточно какой-то одной теории, а необходимо множество структурно подобных теорий, каждая из которых в своих системных терминах интерпретирует наблюдаемые процессы и явления. Например, в экономике содержание понятия «цена» сильно зависит от того, какой экономической теории придерживаются авторы. Распространено понимание цены как денежного выражения стоимости, возникающей в динамическом процессе — технологии производства в результате реализации живого и прошлого труда и исчисляемого издержками производства. Товар в производственном цикле переходит из одного состояния в другое, получая в результате выполнения производственных операций добавленную стоимость. С другой стороны, цена $F(x)$ определяется не индивидуальными x , а общественно необходимыми затратами x_0 , оценка которых формируется в системе общественных и рыночных отношений и рассматривается в категориях политической экономии, изучающей через анализ общественных отношений законы производства и распределения материальных благ. В первом приближении величина x_0 определяется средними издержками на производство товара по отрасли, а в общем случае — это средняя характеристика, зависящая от состояния общества и производства в целом. По уравнению (9), при согласовании индивидуальных и общественно значимых затрат $x = x_0$ цена $F(x_0)$ определяется общественной стоимостью, а при рассогласовании $y_i = x_i - x_{0i}$ на индивидуальную цену влияет, кроме величины y_i , эффективность производства $a = \{a_i\}$.

Цена как денежное выражение ценности формируется через натуральный обмен в виде меновой стоимости. Такое понимание цены реализуется в ординалистском подходе, при котором товары упорядочиваются в соответствии с меновой пропорцией их ценности, когда позиция товаров в ряду ценности определяет их цену. Сами меновые пропорции коррелируют с соотношением трудовой стоимости товаров. Товары с устойчивой позицией (ликвидностью) x_0 в ординалистском ряду выделяются в качестве инвариантов сравнения ценности $F(x_0)$ и служат в качестве денег при товарообмене.

Цены внутри региона формируются также под воздействием различных факторов и условий производства. Соответствующие экономические модели аналогичны экологическим,

где рассматриваются факторные ниши с оптимальным и сниженным режимом функционирования предприятий. На равных рассматриваются природные, например, климатические факторы, осложняющие хозяйственную деятельность, и социально-экономические факторы. При оптимальном сочетании факторов $x = x_0$ объемы производства данной отрасли достигают максимальной величины $F(x) = F(x_0)$ при минимальной чувствительности $a = 0$ к влиянию факторов. Отклонения $y = x - x_0$ в ту или иную сторону снижают эффективность производства. Величина y в такой модели характеризует внутренние факторы производства, а x_0 — внешние условия, которые учитывают валютный курс, эффекты государственного регулирования цен, инфляционные процессы, качество жизни местного населения и т. д. Здесь x_0 — управляемая величина, различающаяся для разных регионов и отраслей. Временная и пространственная изменчивость факторов и условий влияет на динамику цен в сторону их повышения или понижения относительно оптимального значения, увязанного с эффективностью и доходностью производства.

Потребительная стоимость определяется совокупностью полезных свойств товара x , его способностью удовлетворять потребности человека и общества. Свойства — это некоторые потенциалы, аддитивные, суммируемые, экстенсивные показатели, на основе которых дается оценка полезности и цены товара. Оценка осуществляется в рамках кардиналистского подхода методами экономической квалиметрии. Согласно (9) в потенциале полезности $F(x)$ присутствует своеобразная свободная энергия $\Delta F = F(x) - F(x_0)$, позволяющая поддерживать жизнедеятельность или работать на человека. Действие частных экстенсивных показателей (свойств товара, объемов приобретаемых благ) определяется разностью потенциалов $y = x - x_0$ его сравнения с худшими образцами x_0 , т. е. основано на соизмерении различных свойств. Так, например, квалиметрически определяется земельная рента, регламентирующая цену земли в показателях дополнительного дохода сельского хозяйства. Математический анализ, основанный на оценке потенциалов, широко распространен в экономической науке, в частности, при оценке потенциала хозяйства в виде производственных функций (8), зависящих от факторов (потенциалов) производства. Такой подход интертеоретически связан с термодинамикой. Векторы $a = \{a_i\}$ здесь имеют смысл интенсивных потенциалов, а в экономике в

приложении к функции полезности — предельной полезности как дополнительного увеличения уровня благосостояния, получаемого при потреблении дополнительного количества блага вида x_i и при неизменных количествах потребляемых благ остальных видов.

В модели рыночного регулирования существует механизм формирования равновесных цен на основе баланса спроса и предложения. Своеобразная синтетическая теория цены разрабатывалась А. Маршаллом и ориентирована на изучение потребительского поведения и спроса с учетом внешних эффектов. Считается, что эта теория объединяет элементы трудовой теории стоимости и теорию предельной полезности. В уравнении (9) в качестве оценочной функции $F(x) = dx_i / dt$ используется скорость изменения цены товара, которая достигает равновесной величины $x = x_0$ при $F(x) = 0$. Возможно изменение значения равновесной цены $F(x_0) = dx_{0i} / dt$, например, в результате инфляции или влияния других внешних факторов x_0 . При неизменных ценах будет $F(x_0) = 0$. Неравновесное воздействие факторов $y_j = x_j - x_{0j}$ отклоняет $y_i = x_i - x_{0i}$ значение цены от равновесного значения со скоростью $F(x) = dy_i / dt$. Анализ экономических механизмов регулирования, в том числе с использованием математико-игровых методов, — распространенный исследовательский подход. Одна из первых — модель общего экономического равновесия Вальраса — описывает взаимодействие рынков производительных услуг (факторов производства) $F_1(x)$ и потребительских продуктов $F_2(x)$. Предложение производительных услуг рассматривается как функция рыночных цен a_j на эти услуги x_j , а спрос на продукты — как функция цен a_i производительных услуг x_j , поскольку они определяют доходы собственников факторов производства, и цен a_i этих продуктов x_i . В результате динамического взаимодействия рынков устанавливается равновесное состояние, когда спрос и предложение производительных услуг равны $F_1(x_0) = F_2(x_0)$, существует постоянная устойчивая цена x_{0i} на рынке продуктов, и продажная цена продуктов x_{0i} равна издержкам x_{0j} , определяемым ценами факторов производства.

Из приведенных примеров видно, что одно и то же математическое уравнение (9) в разных системных тематических интерпретациях позволяет по-разному трактовать сущность такого важного показателя, как цена. Это же относится к другим экономическим процессам и явлениям, что могут быть описаны на единой универсальной основе, но в силу различия

понятийного аппарата приводят к созданию различающихся теорий и моделей со своим пониманием законов взаимодействия и инвариантов состояния. Эти понятия можно синтезировать в рамках одной модели (полимодели). Каждая теория специальным образом трактует инварианты x_0 на многообразии $F(x_0)$ как равновесную цену, цену худших товаров, общественно значимую цену и т. д. Дополнительно необходимо задать правила изменения (эволюции) инвариантов $F(x_0) = dx_{0i} / dt$ во времени и пространстве, чтобы отразить закономерности перехода от одной системы (слоя) к другой ($x_0 \rightarrow x'_0$), в частности с использованием уравнения распространения инноваций (6).

В общем виде существование каждого теоретического слоя основывается на специальной интерпретации трех аксиом — векторов связи базовых системных понятий [25, 26]:

$$\forall S_i \forall \Delta S_i \forall D_i : 1) S \equiv C, 2) \Delta S \equiv C, 3) \Delta S_i \equiv D_i, (11)$$

где для всякой системы S_i , ее изменения ΔS_i и действия D_i : 1) универсальная система S существует (тождественна особому качеству инвариантного существования $S \equiv C$, вектор $C \rightarrow S$), 2) универсальное изменение системы ΔS существует ($\Delta S \equiv C$, вектор $C \rightarrow \Delta S$), 3) всякое изменение системы ΔS_i однозначно обусловлено действием на нее D_i ($\Delta S_i \equiv D_i$, вектор $D_i \rightarrow \Delta S_i$). Изменение рассматривается как всякое различие, отклонение одного от другого $\Delta S_i \sim F(x) - F(x_0)$. В том числе сюда относятся изменения в пространстве и во времени $\Delta S_i \sim dF(x) / dt - dF(x_0) / dt$. Действие $D_i \sim \sum_{i=1}^n a_i (x_i - x_{0i})$ определяется факторным влиянием с учетом среднего смещения и коэффициентов чувствительности. Законы (11) задаются в общем, непараметрическом виде без учета среднего влияния по аналогии с уравнением (5). Среда учитывается в параметрах x_0 и $F(x_0)$ — координатах точек и функций многообразия сред.

Вектор универсального действия $C \rightarrow D$ является третьим базовым вектором, определяющим пространство базовых понятий и законов — тетраэдре связи инвариантного существования C , системы S , действия D , изменения системы ΔS . Инвариантное существование — это точка касания C теоретическим слоем многообразия связей инвариантов C разных теорий. В зависимости от положения этой точки (начала координат теории) на этом многообразии определяется научное содержание теории.

Универсальные системы охватывают все процессы и явления систем данного рода,

специальной теории, например общества в целом. Они бывают трех основных видов: сохраняющиеся ($S \equiv C$), развивающиеся ($\Delta S \equiv C$) и саморазвивающиеся ($\Delta S \equiv S$). Для перехода в новую теоретическую область знания общие понятия и законы интерпретируются, трактуются в специальных терминах. В общей социологии (философии истории) рассматриваются общественные отношения, системы и организации S_i и их изменения ΔS_i .

В эту область знаний входят обществоведение, этика, культурология, политология, политическая экономия, геополитика и другие гуманитарные науки, законы которых регламентируют человеческую деятельность на разных уровнях организации общества. Регулятивами направления и темпов развития являются аксиомы 1) и 2), отражающие состояние идеального общества мирного сосуществования ($S \equiv C$) и постоянного развития ($\Delta S \equiv C$). Особенностью этого общества является саморазвитие на своей собственной основе ($\Delta S \equiv S$). Эти правила составляют основу постулатов устойчивого развития: сохранения природы, поступательного экономического роста ($\Delta S \equiv C$) и ускоренного свободного развития общества ($\Delta S \equiv S$) [35]. Сквозная теория устойчивого развития разбивается на самостоятельные направления, изучающие с общесоциальной позиции отдельно природу, экономику и общество и особенности их взаимодействия на разных иерархических уровнях. Например, политическая экология и экономия как общие экологическая и экономическая теории описывают влияние социально-политической деятельности соответственно на природу и хозяйство. Предметом исследования общей экономической теории являются системы общественно-производственных и хозяйственно-институциональных отношений, общественной организации производительных сил.

Институциональные направления считаются в области экономико-теоретических исследований наиболее перспективными [23]. Они включают институциональную теорию, позволяющую анализировать эндогенные и экзогенные факторы хозяйствования, неинституциональную теорию для анализа условий равновесия и эволюционную теорию неравновесных процессов. Сейчас наиболее плодотворной методологией экономического анализа представляется «институциональное квантование» экономических объектов для выявления устойчивых, повторяющихся институтов хозяйственной деятельности и закономерностей

их эволюции [23]. Такой подход согласуется с концепцией типизации и расслоения в форме реализации классических принципов разделения и независимости институтов власти и иной самостоятельной деятельности. К таким представлениям близка старая политико-экономическая модель «базис — надстройка», где базис B определяет среду жизни общества, представленную множеством производительных сил и производственных отношений, а надстройка является пространством расслоения X на независимые институты власти и формы общественного сознания и деятельности $Y = \{X_b\}$.

Считается [16], что в настоящее время общая экономическая теория переживает кризис, что проявляется в потере целостности мировоззрения, в дроблении некогда единой теоретической основы на многочисленные направления с разными методологическими основаниями. Вместе с тем политэкономический подход позволяет решать ряд задач индивидуального и социального выбора, определения границ допустимой хозяйственной деятельности и ответственности за ее реализацию. Необходимо открыть путь к использованию новых возможностей, среди которых выделяется область «виртуальной экономики», связанная с применением математического аппарата, моделирующего дедуктивный вывод взаимосвязей хозяйствующих субъектов на различных уровнях и в разных ситуациях [16]. При этом надо понимать, что общая экономическая теория представляет лишь часть ограниченного тематического слоя теории систем общественных отношений и существуют другие самостоятельные экономические теории, полезные на практике. Одной из систем социальных отношений является система территориального управления, увязывающая независимые институты деятельности в коммутативную схему, где связующие векторы соответствуют работе представителей общественных институтов в других институциональных организациях. Исследователь постоянно оказывается перед необходимостью оказать предпочтение одной из нескольких теорий для описания экономических явлений простейшими средствами по принципу простоты и красоты объяснения.

В этом смысле системный подход должен быть полисистемным и интертеоретическим (междисциплинарным), т. е. рассматривать экономические системы как системы разного рода, описываемые различными теоретическими схемами и природу, и общество. Пока

в процессе формирования системной парадигмы основное внимание уделяется исторически возникшим общественным институтам, которые определяют рамки и ход конкретных экономических процессов [11]. Предлагаемые структурные модели (тетрады) функционирования системной экономики [9] можно рассматривать как выделение слоев пространства экономической деятельности с общей тетраэдрной структурой, включающей в первую очередь системы четырех типов: объекты S , проекты D , процессы ΔS и среды C . В проективно-дифференциальной геометрии [36] компоненты скользящего по поверхности тетраэдра однозначно определяют и определяются этой поверхностью, т. е. средой перемещения. Подчеркивается инвариантный аспект средовой системы в неограниченном продолжении во времени и неограниченном проявлении в пространстве [9]. Все это можно рассматривать в контексте средового подхода [14, 35], понимая конкретную среду (условия) как точку касания поверхности многообразия связи формирующих ее факторов.

В системных экономических исследованиях очевидными преимуществами обладает количественный математический анализ, позволяющий выделить скрытые закономерности, которые можно распространить на более сложные неаналитические связи. Например, закон саморазвития общества ($\Delta S \equiv S$) в первом приближении связан с ростом численности населения по закону Мальтуса, который в варианте (9) запишется так:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx_0}{dt} + a(x - x_0). \quad (12)$$

Здесь $x(t)$ — общая численность населения, x_0 — средообусловленная численность населения, определенная ресурсным потенциалом среды обитания (кормящего ландшафта); a — коэффициент прироста населения (разница коэффициентов рождаемости и смертности). В данном случае имеется тривиальное решение $x = x_0$, отражающее численность первобытного общества без саморазвития. Нетривиальное решение $x(t) = x_0 + c \exp(at)$ при постоянном значении a дает устойчивый рост ($a > 0$) или снижение ($a < 0$) численности. Коэффициент $c = x(0) - x_0$ равен разнице начальной численности населения и его средового, фонового значения. Развитие возможно лишь при $a > 0$, $c > 0$, $x(0) > x_0$, т. е. система в таком случае «вырывается» из среды. Вместе с тем в нетривиальном решении $x(t)$ первобытный фактор-условие x_0 всегда присутствует.

Статистический анализ

Для практического использования в расчетах уравнения (9) необходимо статистически обосновать выполнение линейного относительно набора переменных $a = \{a_i\}$ соотношения (4). Для этого применяются методы многомерного регрессионного анализа, позволяющие выделить характеристики среды $x_0 = \{x_{0i}\}$ для каждой переменной $x = \{x_i\}$.

В качестве оценочной функции (поверхности многообразия) рассматривается зависимость валовых внутренних инвестиций $F(x)$ (млн руб./год) от объемов выпуска продукции промышленными x_1 и сельскохозяйственными x_2 предприятиями (млн руб./год) по данным Госкомстата России за 1999–2013 гг. (на примере Свердловской области). Коэффициенты a_i в уравнении (9) в данном случае имеют смысл показателя акселерации (интенсивности отдачи) инвестиций по группам отраслей. Значения x_{01}, x_{02} — это индикаторы хозяйственных условий развития экономики, влияющих на величину $F_0 = F(x_0)$ и на изменение инвестиционного потока $F(x)$. В фундаментальном смысле индикаторы условий развития совокупно зависят от масштаба производства и ресурсного потенциала территории, величины факторов производства, включая численность населения и накопленные производственные мощности, оценки природной ренты, преимуществ географического положения, а также особенностей регионального управления и уровня федеральной поддержки регионов.

Проводится скользящий (по 3 точкам) регрессионный анализ зависимости $F(x) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + b$, а затем оценка коэффициентов регрессии уравнения $b = F(x_0) - a_1 x_{01} - a_2 x_{02}$, связывающего переменную величину b с переменными a_1 и a_2 , полученными для каждого шага скользящей регрессии. Коэффициенты последнего уравнения дают характеристики социально-экономической среды региона $x_{01}, x_{02}, F_0 = F(x_0)$. Для Свердловской области при значении коэффициента множественной корреляции $R = 0,99$ получается: $x_{01} = 846202,6$, $x_{02} = 39065,7$, $F_0 = 168317,8$ млн руб./год. Эти значения соответствуют объемам инвестиций и выпусков производств в этой области в 2007 г., то есть накануне начала мирового финансово-экономического кризиса. Статистически 2007 г. можно считать базовым, соответствующим индикаторам нормальных хозяйственных условий региона x_{01}, x_{02}, F_0 .

Сравнение значений объемов производства по группам отраслей в Свердловской области за период 1999–2011 гг. демонстри-

рует линейную зависимость $x_2 = 0,03x_1 + 13854$ ($R = 0,98$). Теоретическое значение $13854 = x_2 - 0,03x_{01}$ отличается от расчетной по x_{01}, x_{02}, F_0 величины 13679,6 только на 1,3 %. Переходя к смещенным значениям переменных, находим их отношения для каждого года и среднее $k_{12} = (x_2 - x_{02}) / (x_1 - x_{01}) \approx 0,029$. Коэффициент k_{12} — первый интеграл, устанавливающий устойчивые межотраслевые пропорции объемов производства Свердловской области. Выпуск сельскохозяйственной продукции здесь составляет $2,9 \pm 0,4$ % от объема промышленного производства. Норма отдачи на инвестиции в промышленные отрасли равна $k_1 = (F - F_0) / (x_1 - x_{01}) \approx 0,245 \pm 0,054$ (другой первый интеграл). Значение норм заметно варьирует по данным в окрестности 2007 г., и их не учитывали при расчете средних значений.

Произведение норм $k_{12}k_1 = 0,0064 \pm 0,0012$ близко к константе и определяет вид зависимости:

$$F(x) - F_0 = 0,0064 |y_1|^{2-\alpha} / |y_2|^{1+\alpha} + C, y_1 = x_1 - x_{01}, y_2 = x_2 - x_{02},$$

где α, C — уточняющие параметры. По результатам расчетов $\alpha = 0,009$ близка к нулю и $C = -21578,3$. Таким образом, в рассматриваемом случае размер инвестиций с учетом отклонения от их нормальных показателей пропорционален квадрату отклонения объемов выпусков промышленности и обратно пропорционален отклонению объемов производства сельского хозяйства от объемов, характеризующих нормальные условия производства. Значения x_{01}, x_{02}, F_0 индивидуальны для каждого региона, и их нормированная последовательность должна отражать различие местных экономик по стадиям развития, что является основанием для их сравнительного анализа и прогнозирования.

Заключение

Развитие методологии междисциплинарных исследований однозначно связано с интертеоретическим пониманием реальности как сквозного единства природы, хозяйства и населения, изучаемого в рамках одной или нескольких теорий (полисистемы теорий), каждая из которых на своем системном языке, в специальных системных понятиях отражает в моделях законы взаимосвязи процессов и явлений. Выделенное по ограничениям универсальное уравнение (5) описывает структуру и процесс развития любого слоя, соответствует оператору взаимодействия совокупности факторов и условий разного качества и опреде-

ляет, в частности, вид базовых законов — аксиом разных теорий, например, закона влияния факторов в производственных функциях. Инновация трактуется как логистический (логико-динамический) процесс перехода из одного слоя жизнедеятельности или знаний в другие, трансформирующего известные формы существования в новые формы. Это позволяет индуцировать структуру одной теории по структуре другой или получить при некоторых естественных требованиях из математических соотношений уравнения для содержательного анализа свойств экономических систем.

Выделение интертеоретических слоев и векторов базовых законов теорий — одна из форм расслоения многообразия связи данных и знаний, примеры которого формируются в системной экономике. Частной формой многообразия является внешнее проявление географической среды, от факторов и условий которой зависят интенсивность и направленность процессов, формирование и трансформация экономических систем разного рода. Удастся синтезировать в одной формуле (10) характеристики пространственной экономики и экономической географии, или решать обратную задачу — определить характеристики среды по пространственным и временным данным об изменении экономической системы.

Единство моделей территориальной организации, инновационного развития и оценки качества жизни обеспечивается метатеоретическими методами исследования с использованием понятий дифференциальной геометрии и математической теории расслоения многообразий связи факторов, что выражается в динамической и функциональной связности слоев жизнедеятельности: регионов, отраслей, производства и потребления, социальных групп населения. На математические формулы накладываются ограничения, отражающие проверяемые зависимости параметров систем разного рода, в частности, существования линейной связи вида (4).

Метатеоретический, метанаучный уровень знаний находится на границе математики и содержательных интертеорий и формирует методы математического анализа исследовательских проблем. Благодаря развитию теоретических оснований экономика — удобный предмет для мета- и интертеоретических обобщений, полезных для различных областей науки. По этой причине на метатеоретическом уровне уже не имеет значения предметное содержание теоретической экономики, поскольку ее специальные законы частями уже

входят в структуру различных интертеорий, что показано на примере многоаспектного понятия «цена — стоимость».

Математика предоставляет большие возможности для развития теоретического знания, но не всё, что появляется в ее безграничной сфере, реализуемо в практике исследований. Метатеоретический анализ и синтез по-

зволяют выявить естественные ограничения на формулы и связи и правильно сформулировать утверждения специальных теорий. С этих позиций имеет смысл пересмотреть имеющиеся экономические модели на предмет их адекватности разным интертеоретическим слоям знаний и соответствия базовым метатеоретическим положениям.

Список источников

1. *Бабурин В. Л.* Двупространственная модель территориальной организации общества // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2011. — № 1. — С. 3–8.
2. *Ванеева Т. А.* Метасистемный подход к оценке уровня развития региона // Регион: экономика и социология. — 2005. — № 1. — С. 3–14.
3. *Васильев А. Н.* Функциональные методы в квантовой теории поля и статистике. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1976. — 295 с.
4. *Волобуев И. П., Кубышин Ю. А.* Дифференциальная геометрия и алгебры Ли и их приложения в теории поля. — М.: Эдиториал УРСС, 1998. — 224 с.
5. *Гельфанд И. М., Фомин С. В.* Вариационное исчисление. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961. — 228 с.
6. *Гранберг А. Г.* Основы региональной экономики. — М.: ГУ ВШЭ, 2000. — 495 с.
7. *Канторович Л. В.* Математические методы организации и планирования производства. — Л.: Издание Ленингр. гос. ун-та, 1939. — 67 с.
8. *Картан А.* Дифференциальное исчисление. Дифференциальные формы. — М.: Мир, 1971. — 392 с.
9. *Клейнер Г.* Системная экономика как платформа развития современной экономической теории // Вопросы экономики. — 2013. — № 6. — С. 4–28.
10. *Клейнер Г. Б.* Исследовательские перспективы и управленческие горизонты системной экономики // Управленческие науки. — 2015. — № 4. — С. 7–20.
11. *Корнаи Я.* Системная парадигма // Вопросы экономики. — 2002. — № 4. — С. 4–22.
12. *Котляков В. М., Глезер О. Б., Трейвиш А. И., Швецов А. Н.* Новая программа фундаментальных исследований пространственного развития России // Регион: экономика и социология. — 2012. — № 2 (74). — С. 24–44.
13. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теоретическая физика. — Т.1. Механика. — М.: Наука, 1988. — 216 с.
14. *Лепский В. Е.* (ред.) Междисциплинарные проблемы средового подхода к инновационному развитию. — М.: Когито-центр, 2011. — 240 с.
15. *Московкин В. М.* Основы концепции диффузии инноваций // БизнесИнформ. — 1998. — № 17–18. — С. 41–48.
16. *Некпелов А. Д.* Кризис общей экономической теории: вызовы политэкономии будущего // Журнал экономической теории. — 2013. — № 3. — С. 209–218.
17. *Никонов О. А.* Философские аспекты геометродинамики // Вестник МГТУ. — 2011. — Т. 14. — № 2. — С. 272–280.
18. *Орехов А. М.* Методы экономических исследований. — М.: ИНФРА-М, 2009. — 392 с.
19. *Пенроуз Р.* Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. — Москва; Ижевск: R&C Dynamics, Институт компьютерных исследований, 2007. — 911 с.
20. План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013–2017 годы и последующие годы. Общественные науки [Электронный ресурс]. URL: http://www.sbras.ru/win/anons/1689/12/plan_RAS_2013-2017.pdf.
21. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике. — М.: Наука, 1977. — 440 с.
22. *Татаркин А., Игнатъева М.* Геоэкоэкономическая модель системного освоения природных ресурсов // Проблемы теории и практики управления. — 2015. — № 9. — С. 8–16.
23. *Татаркин А. И., Попов Е. В.* Тенденции развития современной экономической теории // Вестник Российской академии наук. — 2007. — Т. 77. — № 1. — С. 75–83.
24. *Турчин В. Ф.* Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. — М.: ЭТС, 2000. — 368 с.
25. *Черкашин А. К.* Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии. — Новосибирск: Наука, 1997. — 502 с.
26. *Черкашин А. К.* Полисистемное моделирование. — Новосибирск: Наука, 2005. — 280 с.
27. *Черкашин А. К.* Моделирование в научных исследованиях // Гомология и гомотопия географических систем. — Новосибирск: Изд-во ГЕО, 2009. — С. 79–86.
28. *Черкашин А. К.* Географическая точность и особенности метрологического моделирования геопространственных данных // Український метрологічний журнал. — 2014. — № 2. — С. 7–15.
29. *Черкашин А. К.* География и негеография // Известия Иркутского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле, 2015. — С. 108–127.

30. Черкашин А. К. Модели и методы территориальной организации общества // Региональные исследования. — 2016. — № 1(51). — С. 23–36.
31. Черкашин А. К., Красноштанова Н. Е. Моделирование оценки риска хозяйственной деятельности в районах нового нефтегазового освоения // Проблемы анализа риска. — 2015. — № 6. — С. 21–29.
32. Черкашин А. К., Лещенко Я. А., Боева А. В. Динамические и квалиметрические модели оценки качества жизни семьи // Народонаселение. — 2015. — № 3. — С. 61–76.
33. Черкашин А. К., Мядзелец А. В. Восстановление нелинейной зависимости качества жизни населения от социально-экономического потенциала регионов Сибири // География и природные ресурсы. — 2014. — № 3. — С. 149–160.
34. Черкашин А. К., Мядзелец А. В. Пространственные и временные индикаторы для сравнения условий развития экономики регионов России // Региональные исследования. — 2016. — № 3. — С. 22–31.
35. Черкашин А. К., Склянова И. П. Проявление принципов геоэкологической этики: средовой подход // География и природные ресурсы. — 2016. — № 3. — С. 189–199.
36. Фиников С. П. Проективно-дифференциальная геометрия. — М.: КомКнига, 2006. — 264 с.
37. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. — М.: Мир, 1971. — 295 с.
38. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. — М.: Прогресс, 1974. — 568 с.
39. Keyfitz B. L., Keyfitz N. The McKendrick Partial Differential Equation and Its Uses in Epidemiology and Population Study // Mathl. Comput. Modelling. — 1997. — Vol. 26. — No. 6. — P. 1–9.
40. Klein E. Mathematical Methods in Theoretical Economics: Topological and Vector Space Foundations of Equilibrium Analysis. — New York: Academic Press, 1973. — 388 p.
41. Klein E. Economic theories and their relational structures: a model-theoretic characterization. — London: Macmillan Press LTD. — 1998. — 246 p.
42. McKendrick A. G. Applications of mathematics to medical problems. Kapil Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society. — 1925. — Vol. 44. — P. 1–34.
43. Sato R. Theory of technical change and economics invariance: application of Lie groups. — New York: Academic Press, 1981. — 456 p.
44. Sato R., Ramachandran R. V. Symmetry and Economic Invariance. Second Enhanced Edition. — Tokyo: Springer, 2014. — 273 p.
45. Urwick L. The Elements of Administration. — New York : Harper & Row, 1943. — 132 p.