
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

**Развитие методологии разработки моделей поведения антропоэкосистем
на основе междисциплинарного подхода**

© 2025 г. Т.О. Загорная, А.Г. Шеломенцев, К.С. Гончарова, А.О. Коломыцева

Т.О. Загорная,

ДонГУ, Донецк; e-mail: t.zagornaya1977@mail.ru

А.Г. Шеломенцев,

ИСЭИ УФИЦ РАН, Уфа; e-mail: a.shelom@yandex.ru

К.С. Гончарова,

ИЭ УрО РАН, Екатеринбург; e-mail: ksenia.gon4arowa@gmail.com

А.О. Коломыцева,

УрФУ, Екатеринбург; e-mail: a.o.kolomytseva@urfu.ru

Поступила в редакцию 04.05.2024

Исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-01134-23-00 на 2025 г. и на плановый период 2026 и 2027 годов.

Аннотация. Долгосрочное устойчивое развитие стран и регионов определяется характером и качеством взаимодействия экономической деятельности человека с окружающей средой. Сегодня, в период растущей нехватки критически необходимых ресурсов, глобальные и региональные антропоэкосистемы сталкиваются со сложным экологическим кризисом. Это также происходит в эпоху глубоких социальных и геополитических перемен. Цель настоящей работы — обоснование трансдисциплинарного подхода к моделированию гибких и адаптивных систем высокого порядка, позволяющего интегрировать концепции и данные экономических, политических, антропологических, экологических и биологических исследований на основе теории систем. В работе предложено, что синтетический анализ взаимодействия различных по признакам групп факторов и динамики экономического роста национальных экономик возможен в рамках междисциплинарного подхода к комплексному моделированию поведения антропоэкосистем. При этом особое внимание в таком анализе уделяется динамике их изменения с учетом степени их адаптивности (обеспечивающейся посредством деятельности соответствующих институтов). На основе междисциплинарного подхода была разработана методология разработки моделей поведения антропоэкосистем, а также предложен комплекс структурных моделей, позволяющий изучать взаимодействие ресурсов, элементов и процессов в антропоэкомоделах, прогнозировать вектор изменений и управлять рассматриваемыми в исследовании процессами с учетом их сложности.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, динамические системы, антропоэкомодел, антропоэкосистемы, междисциплинарный подход, устойчивое развитие, социально-экономическое развитие.

Классификация JEL: C02, C61, O1.

УДК: 330, 330.35, 330.46.

Для цитирования: Загорная Т.О., Шеломенцев А.Г., Гончарова К.С., Коломыцева А.О. (2025). Развитие методологии разработки моделей поведения антропоэкосистем на основе междисциплинарного подхода // Экономика и математические методы. Т. 61. № 1. С. 5–17. DOI: 10.31857/S0424738825010018

ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого развития, включая осознание ограниченности экономического роста, стала предметом широкой научной дискуссии с начала 1970-х годов. Впервые этот тезис прозвучал в известном докладе «Пределы роста» (Медоуз и др., 1991), представленном в 1972 г. Римскому клубу. Поставленная в докладе проблема дальнейшего развития человечества приобрела глобальный характер и вызвала появление целого спектра направлений научных исследований в междисциплинарной области на стыке естественных, гуманитарных и общественных наук. Это стало своего рода

толчком к появлению и развитию новых теоретических конструкций в виде концепций экосистем, антропосфер, антропосистем и других. Утверждалось, что энергетические и материальные потоки зависят от численности населения и, как следствие, экономический рост вызывает увеличение антропогенной нагрузки на природную систему (Ayres, 1994).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОМЕНА АНТРОПОЭКОСИСТЕМ

Понятия «экосистема» и «антропосистема» являются, по существу, генетически и содержательно взаимосвязанными. Так, введение в научный оборот понятия «экосистема» традиционно связывается с работой (Tansley, 1935), по мнению которого организмы и ближайшая окружающая среда представляют собой одно целое. В современном понимании понятие «экосистема» чаще всего трактуется как «совокупность совместно обитающих организмов (биотических) и условий их существования (абиотических), находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и образующих систему» (БРЭ, 2025)¹. Ю. Одум в 1953 г. рассматривал экосистему как основную фундаментальную единицу, включающую два компонента: автотрофный и гетеротрофный — и четыре составляющие — абиотические, продуценты, потребители и разлагатели (Odum, 1953). При этом компоненты экосистемы связаны между собой и с окружающей средой процессами обмена веществ и энергией, составляющих основу метаболизма. Не углубляясь в эту концепцию, отметим лишь основные свойства экосистемы. Во-первых, она обладает устойчивостью, равновесием и самоорганизацией. Во-вторых, это — относительно замкнутая система, т.е. у нее сравнительно постоянный состав, а протекающие процессы представляют замкнутые циклы обмена веществ и энергии. В-третьих, основой существования экосистемы является солнечная энергия. В-четвертых, она является сложной открытой системой, находящейся в неравновесном состоянии, а также представляет собой диссипативную структуру, «внутренний порядок которой зависит от непрерывного потока энергии и достигается за счет беспорядка в более широкой системе» (Quilley, 2011, p. 72). В то же время за пределами определенного размера и сложности экосистемы поток энергии и материала также соответствует эмерджентным свойствам, которые не могут быть полностью объяснены анализом характеристик биологических и экологических систем (Ibisch, Vega, Herrmann, 2010). По мнению автора работы (Willis, 1997, p. 270), «концепция экосистемы обеспечила продуктивную основу для понимания природных систем с высокой степенью организации».

Дальнейшее развитие представлений об устойчивом развитии (росте) национальных экономик и человечества в целом столкнулось с проблемой «несущей способности» экосферы как экологической оболочки Земли (Cole, 1958), включающей слои атмосферы, гидросферы и часть литосферы (Gillard, 1968). При этом понятие «экосфера» стало использоваться для определения своего рода экологической емкости как определенных зон, так и планеты в целом как характеристики глобальных экосистем (Huggett, 1999), не предполагая априори их равновесного состояния. Часть экосферы, измененной в результате человеческой деятельности, получила название антропосферы (Kuhn, Heckeley, 2010), ставшей центральным элементом концепции антропосферы Й. Гудсблома (Goudsblom, 1977, 2002).

Таким образом, исследователи столкнулись с анализом открытых сложных систем, состав, механизмы функционирования и динамика которых уже не могли быть описаны и объяснены только в рамках концепции экосистем. При этом центральное место в них занимала человеческая деятельность, которая не укладывалась в традиционные рамки описания экосистем. Считается, что в 1975 г. М. Сантос впервые использовал термин «антропосистема», обозначающий упорядоченное сочетание или расположение физической и биологической среды с целью поддержания человеческой цивилизации (Santos, 1975). Позже, в 2005 г., М.А. Сантос и В.Л. Фильо предложили под антропосистемой понимать «структурную и функциональную единицу окружающей среды», которую можно считать автономной системой при условии, что у нее есть источник энергии (Santos, Filho, 2005). Антропосистема в отличие от экосистемы является открытой, обменивающейся с внешней средой не только энергией как экосистемы, но и веществами и информацией, происходящие в ней процессы незамкнуты. Антропосистема не обладает свойствами равновесия и устойчивости (Santos, Filho, 2005), при этом ключевое место в ней отводится человеческой деятельности и ее последствиям.

¹ БРЭ, 2025 (<https://bigenc.ru/c/ekosistema-cb7f92/?v=3891005>).

Кроме того, традиционно выделяются три основных уровня антропосистемы: человек, регион или территория, глобальная антропосистема.

Так, в последнее время активно развиваются различные направления исследований, представленные широким кругом антропологических подходов, в центре которых находится человек, его образ жизни и деятельность (Резник, 2012). Методологические проблемы анализа человека и его деятельности также представлены в области философской антропологии (Сергейчик, 2018), в рамках которой человек рассматривается как «целостная система (антропосистема)» и «может быть понят только через выяснение взаимосвязи составляющих его частей (подсистем), установление механизмов их взаимной детерминации» (Гаранина, 2013, с. 211). При этом в качестве частей (элементов) антропосистемы выделяются: подсистема природно-биотических качеств; подсистема духовно-психических качеств; подсистема социальных качеств. Отсюда задача исследования человека как целостной антропосистемы состоит не только в том, чтобы выявить механизмы, определяющие его сложное поведение (Гаранина, 2013), но и рассмотреть происходящие с ним процессы с учетом всей совокупности объективных факторов, включая антропогенный, природно-географическую среду и исторический путь (Бельский, 2016; Лепехин, 2014). Здесь В.А. Лепехин выделяет в истории России три антропологических переворота, последний из которых, по его мнению, связан с процессами глобализации и столкновением разных ценностных систем (Лепехин, 2016).

В рамках глобального подхода антропосистема подразумевает «все человечество, населяющее земное пространство и самоорганизующееся в процессе социоэволюции в сложную самоорганизующуюся систему, включающую множество разнохарактерных и разноуровневых базовых систем-подсистем, реализующих развитие конкретных социумов, и стремящуюся к устойчивости» (Ершова, 2013, с. 51). В ее состав обычно включают научное знание и технологии. Развитие данной концепции было связано с ее соединением с концепцией информационного общества (Тоффлер, 2004), а также с включением в антропоэкосистему информационного поля (как ее элемента) (Лощилина, Петрова, 2015; Петрова, 2014). Последние, по мнению авторов (Гринь, Кузнецов, Главчев, 2005), в виде информационных потоков и информационной среды занимают в антропоэкосистеме «все более значимое место, постепенно становясь основной средой обитания человека».

Дальнейшая интеграция представлений о природе экосистемы с представлениями об антропосистеме выразилась в концепции антропоэкосистемы (Преображенский, Райх, 1984, 1988), которая характеризуется как «пространственное подразделение среды обитания человека, во всех своих частях обладающее сходством природных, социально-экономических, производственных, экологическо-гигиенических, культурно-бытовых условий жизнедеятельности населения, которые формируют мировосприятие и экологическое сознание, уровень здоровья, демографическое поведение, физический облик, трудовые навыки, образ жизни, обряды и обычаи, выбор религии, профессиональные предпочтения и пр.» (Прохоров, 1999, с. 20). Важным свойством антропоэкосистем является их способность адаптироваться к изменяющимся условиям, в которой проявляется взаимосвязь биологических и социальных процессов и «тенденция к достижению той или иной степени гармонии с внешней и внутренней средой» (Петрова, 2017, с. 21).

Сегодня новым направлением исследований становится экодинамика человека, опирающаяся на анализ долгосрочных изменений в социоэкологических системах. Это направление сформировалось на основе ряда методологических достижений, которые изучают динамику в сферах палеоэкологии, палеодемографии, мобильности, торговли и социальных сетей. При этом, по мнению представителей этого направления, комплексно изучая взаимосвязанные системы человека и природы («социоэкосистемы») можно понять природу взаимодействия человека с окружающей средой и управлять ими для достижения устойчивых целей устойчивого развития (Fitzhugh et al., 2018).

ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ АНТРОПОЭКОСИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В последние годы разработка моделей антропосистем, отражающих социально-экономические и экологические процессы и явления, сформировалась как перспективное направление научных исследований. Рассмотрим ряд моделей, отражающих основные аспекты в этой междисциплинарной области.

М.А. Сантос и В.Л. Фильо предложили модель антропосистемы в виде системы уравнений, каждое из которых характеризует функционирование указанных элементов во времени, а именно:

переработку ресурсов и производство, потребление продуктов, восстановление ресурсов. По их мнению, модель антропосистемы представляет собой «рабочий план, который имеет широкий спектр приложений и может быть использован для формулирования других принципов и законов» (Santos, Filho, 2005, p. 86). В самом общем плане развитие антропосистемы должно обеспечивать сохранение экосистемы за счет установления национальным экономикам экологических ограничений и пределов экономического роста.

Р.У. Айрес (Ayres, 1994) предлагает модель антропосистемы в виде материальных потоков «производитель — потребитель — переработчик», которая представляется в виде ключевых матриц потоков материалов от производителя к потребителю и к получателю. Апробация данной модели была проведена на примере мобилизации и переноса серы в США — из ее геохимических резервуаров к потребителям на электростанциях, а затем — к принимающим геохимическим резервуарам. В данном аспекте Айрес отмечает, что «важным компонентом понимания материальных потоков, вызванных деятельностью человека, является идентификация вовлеченных ключевых игроков и движущих сил, т.е. построение концептуальной модели. Изначально такая модель не обязательно должна быть прогностической; достаточно, чтобы она обладала объяснительной силой для существующего взаимодействия человека с природой. При формулировании и объяснении таких концептуальных моделей полезно использовать установленные системы в качестве руководства. Применяя метафоры и аналогии, переносите существующие знания и концепции на рассматриваемые вопросы» (Ayres, 1994, p. 1).

Помимо этого, следует отметить особую группу исследований, посвященных моделированию глобальных социальных, экономических, экологических и политических процессов, представленных в работах (Гринин, Коротаев, Малков, 2008; Коротаев, Малков, Халтурина, 2007; Малков, 2009).

Так, в статье (Малков и др., 2022) была предложена модель динамики перехода от фазы демографического и технологического роста к фазе демографической и технологической стабилизации / стагнации и обратно, опирающуюся на базовую модель «демография — экономика — технологии», к анализу глобальных фазовых переходов. С помощью этой модели была продемонстрирована периодизация и взаимосвязь между социальным развитием, инновационным процессом, ресурсной базой и экономическим ростом.

Кроме того, в литературе можно встретить примеры моделирования (с целью последующего анализа и прогнозирования их развития) конкретных локальных антропосистем: озера Фитри², находящегося в состоянии регресса вследствие воздействия на него людей и домашнего скота, а также восстановление динамики растительности высотных антропосистем в масштабе верхней долины Фрейсиньер (Верхние Альпы) на основе антракологического анализа карбонизированных горнодобывающих отложений и (агро-)пасторальных угодий (Kaffine et al., 2021).

Таким образом, по нашему мнению, представляется крайне важным обозначить предметную область нашего исследования, и это — именно антропоэкосистема, так как именно экосистемный компонент аккумулирует наиболее ценные (с точки зрения деятельностного подхода) параметры развития (паттерны) метасистем подобного рода.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ АНТРОПОЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕЖПРЕДМЕТНОГО ПОДХОДА

По нашему мнению, наиболее полно природа антропоэкосистемы может быть рассмотрена в рамках межпредметного подхода, синтезирующего системный и процессный анализы и позволяющего последовательно переходить от структурно сложных элементов исследуемой системы к модели ее жизнеспособности путем их композиции. Такая модель объясняет организацию и поведение входящих в нее ключевых переменных с определенной степенью абстракции. Тогда антропоэкосистема представляла собой взаимодействие нескольких структур (атропоэкомоделей),

² Фитри — бессточное реликтовое озеро, находится в Центральной Африке, на территории Чада, в 278 км к востоку от Нджамены. Обычно озеро имеет площадь около 50 000 га, однако в дождливые годы эта цифра может утраиваться. Глубина этого пресноводного озера невелика, озеро питается за счет сезонных осадков и стока от своего бассейна, имеющего площадь около 70 000 км². В дождливое время озеро также питается за счет стока реки Батха, несущей свои воды с массива Уаддай на запад. Как и другое крупнейшее в стране озеро Чад, в древности площадь Фитри была значительно больше. Согласно Рамсарской конвенции, озеро признано имеющим международное значение в качестве водно-болотного угодья. В особенно сильную засуху озеро может пересыхать, как это произошло в начале XX в. и еще раз — в 1984–1985 гг. (Википедия. — <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

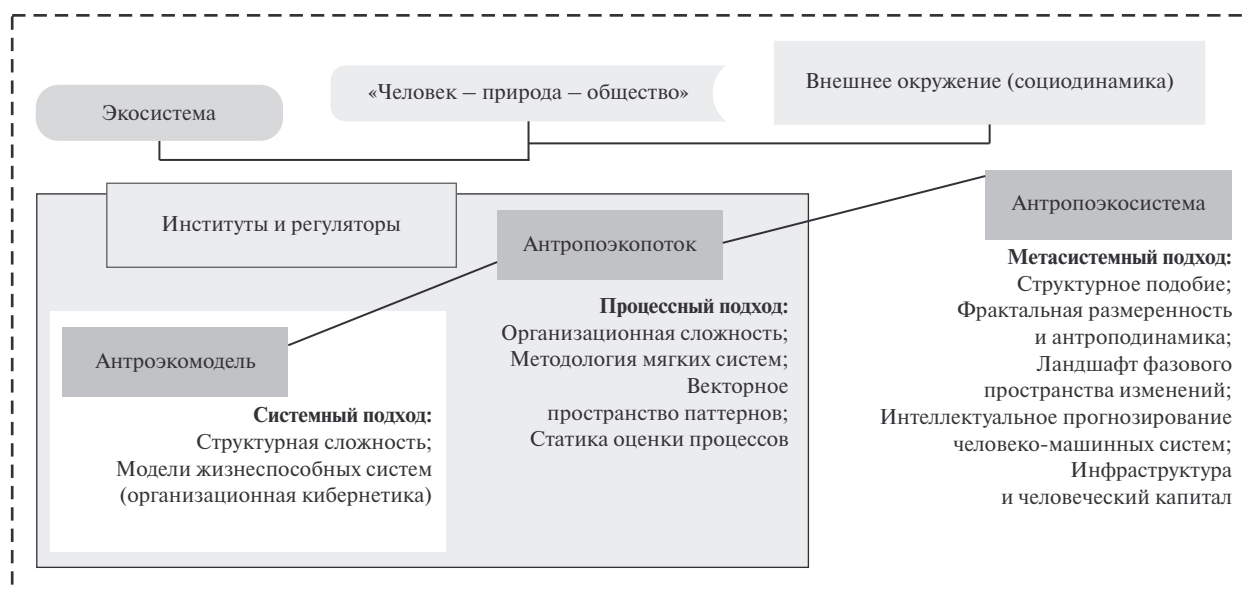


Рис. 1. Эволюция подходов к моделированию поведения антропоэкосистем

функционирующих по определенному алгоритму поведения в динамике, обладающему свойствами фрактала (самоподобие и размерность) на различных уровнях масштабирования в фазовом пространстве. Таким образом, на концептуальном уровне для целей настоящего исследования антропоэкопоток рассмотрен как своего рода метасистема. В то же время при рассмотрении поведения антропоэкопоток — как результата формирующих ее антропоэкомоделей — авторы предлагают использовать фрактальный подход, позволяющий исследовать процессы поведения сложных структур в динамике.

Рассмотрим более детально свойства «антропоэкомоделей» и «антропоэкопотока» — как категорий, формирующих авторский межпредметный подход. При этом для обоснования возможностей последнего (в части моделирования динамических характеристик антропоэкопоток) уточним содержание понятий «метасистема» и «метаданные», также составляющих категориальную основу подхода. Ранее авторами были охарактеризованы отдельные аспекты метасостояний экономических систем в параметрах статистики и динамики (Загорная, Коломыцева, 2023). На основе полученных в исследовании результатов в настоящей работе метасистема рассматривается нами как набор паттернов, процессов и эффектов взаимодействия с учетом траектории развития системы в единстве логики функционирования и вектора развития. При этом предполагается, что анализ и оценка таких метасистем должны опираться на совокупность метаданных, так как статические метрики и стандартные оценки не дают полной картины и формируют ошибочный результат на фрагментарном ландшафте показателей. Соответственно, метаданные рассматриваются нами как отдельный класс данных, которые описывают структурные свойства с учетом многообразия ракурсов и набора паттернов. Вместе с тем отметим, что представленные определения являются рабочими для авторского подхода.

Так, с определенной долей абстрагирования, «антропоэкопоток» и «антропоэкопоток» можно считать аналогами «структуры» и «процесса». Соответственно, соотношение категорий «антропоэкопоток», «антропоэкопоток» и «антропоэкопоток» можно представить следующим образом (рис. 1).

Таким образом, антропоэкопоток представляет собой системную конструкцию, обеспечивающую сочетание определенной самостоятельности множества центров принятия решений и их скоординированное участие в решении главной задачи достижения устойчивого жизнеобеспечения

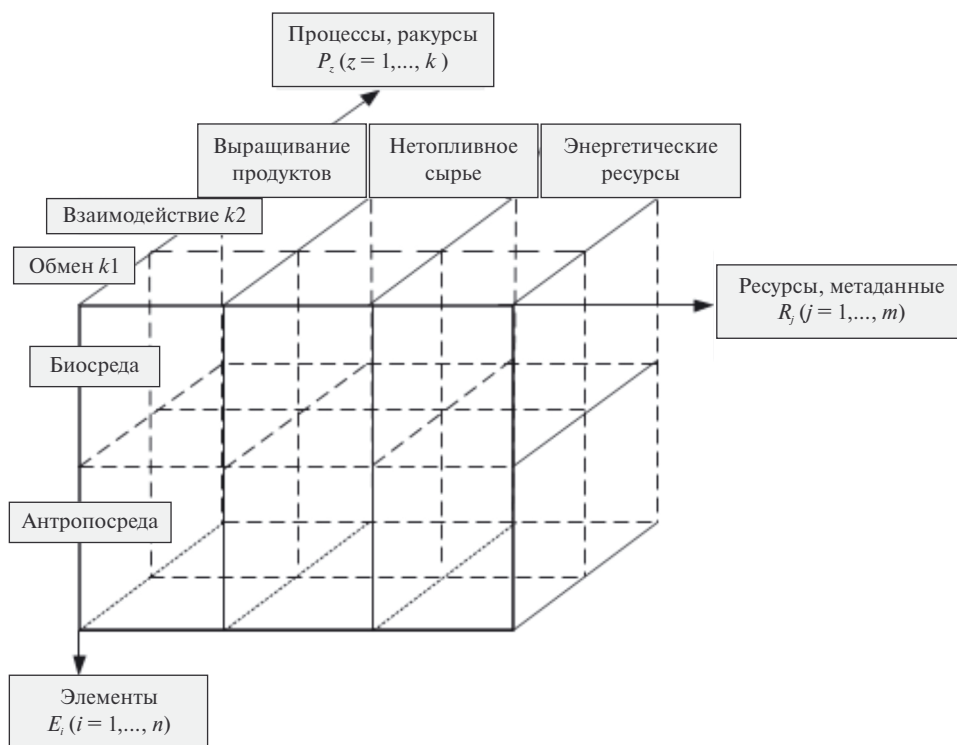


Рис. 2. Архитектура антропоэкомодели с выделением элементов (паттернов), ресурсов (метаданных) и процессов (ракурсы)

социума, особого баланса элементов, ресурсов и процессов. Концептуальная модель такого конструкта представлена на рис. 2.

В общем виде архитектуру антропоэкомодели формируют природная и социальная среда в разрезе элементарных паттернов, атрибутов и компонентов. От того, какой смысл мы вкладываем в структуру базовых элементов антропоэкомодели, будет зависеть степень их многообразия.

Таким образом, в отличие от традиционных рассмотренных ранее подходов к исследованию антропоэкосистем нами была выделена доминанта их жизнеобеспечения. Это позволило развить методический инструментарий оценки и моделирования их поведения с позиции межпредметного подхода (рис. 2). При этом уточнена структура параметров антропоэкомодели (рис. 3)

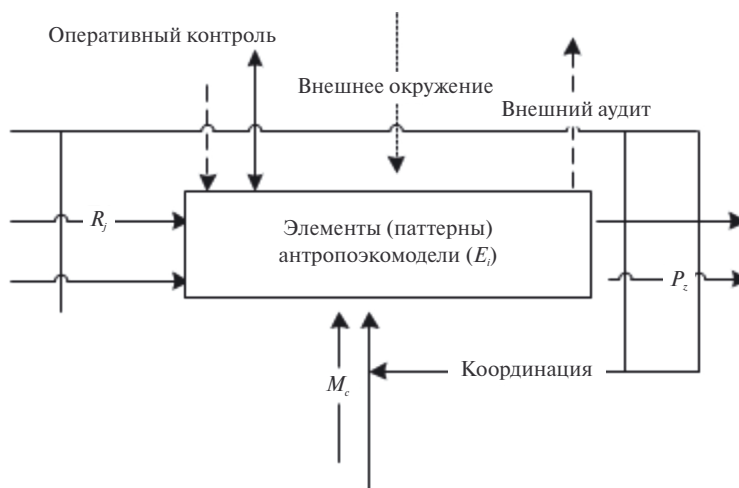


Рис. 3. Структурные параметры антропоэкомодели

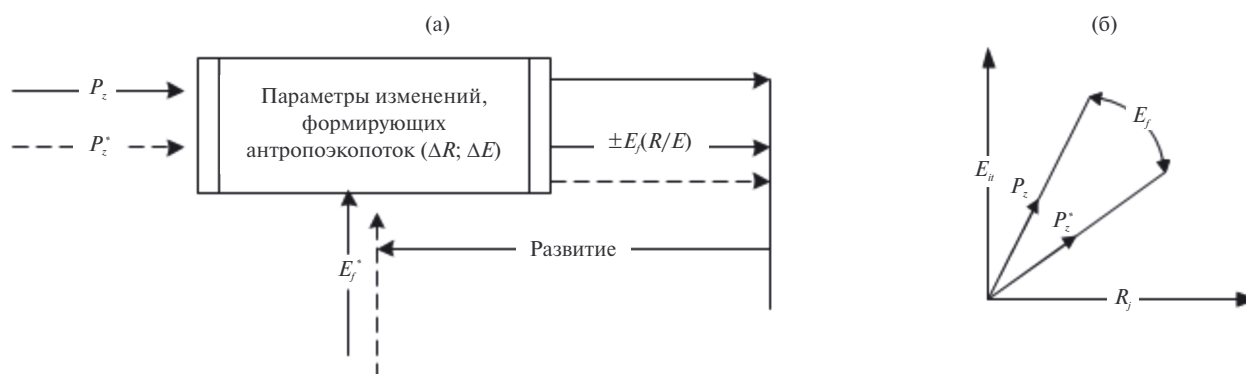


Рис. 4. Формализованная модель антропоэкопотока как этапа изучения динамических параметров антропоэкосистемы: а) условия возникновения изменений в антропоэкопотоке; б) источник эффектов и экстерналий



Рис. 5. Институциональная матрица и критерии развития антропоэкосистемы

и формализована модель антропоэкопотока для оценки динамических параметров антропоэкосистемы (рис. 4), а также систематизированы критерии их трансформации, обусловленные существующей институциональной средой (рис. 5).

Соответственно, можно выделить ряд характерных особенностей антропоэкомоделей:

- число элементов их паттернов (E_j , где $i = 1, \dots, n$) определяется исходя из критериев полноты и достаточности, гибкости и устойчивости, целостности и обособленности структурных характеристик;
- элементы структурированной системы обязательно взаимосвязаны во времени и пространстве, отражают действующую макромоделю «человек — природа — общество» в упрощенном виде — как базового элемента с акцентом на роли деятельности человека;
- функционирование структурированной на основе набора входящих ресурсов (R_j , где $j = 1, \dots, m$) антропоэкосистемы предполагает, что все элементы в той или иной степени вовлечены в этот процесс на основе набора правил и допущений, отсюда — необходимость изучать статику внутри (метаданные) и процессы обмена и взаимодействия (ракурсы) на выходе (P_z , где $z = 1, \dots, k$).
- для целей управленческих воздействий, имеющих отношение к процессам ресурсообмена, взаимодействия с внешним окружением выделены инструменты координации (M_c), задача которых заключается в обеспечении способности встраиваться в антропотоки с определенными заданными характеристиками.

В формализованном виде антропоэкомоделю может быть представлена (см. рис. 3):

$$A_m = f(E_i; R_j; P_z; M_c; \xi), \quad (1)$$

где R_j — ресурсы «на входе» в антропоэкомоделю, формирующие природу элементов (паттернов), позволяющие оценивать обеспеченность элементов в системе энерго-эколого-экономического

обмена, могут быть рассмотрены как набор $j = 1, \dots, m$; E_i — элементы (паттерны) антропоэкомодели, отражающие влияние на нее биосреды и антропосреды. Сложные взаимосвязи в модели «человек — природа — общество» могут быть рассмотрены как нарушение равновесия в экосистемах локального уровня, $i = 1, \dots, n$; P_z — процессы на выходе, являющиеся результатом текущего сбалансированного обмена (частный случай) и более сложного взаимодействия элементов и ресурсов в модели «человек — природа — общество». Все это позволяет далее перейти от статике к динамике оценки, $z = 1, \dots, k$; M_c — гибкие и жесткие рычаги управленческого характера, способы и инструменты координации сбалансированности и гибкости антропоэкомодели; ξ — оценка степени неопределенности внешнего окружения в системе энерго-эколого-экономического обмена. Для оценки такого уровня неопределенности в метасистемах нами предлагается использовать обобщенный алгоритм формального описания диагностики метасостояний экономической системы в параметрах синтеза статике и динамики (Загорная, Коломышева, 2023).

Дополнительно обозначим значимость в предлагаемой формализованной антропоэкомодели инструментов координации (M_c) и процедур внутреннего / внешнего контроля. Так, согласно исследованиям (Бир, 2009; Тимохин, 2007), их наличие является обязательным условием перехода от статичного анализа ресурсообеспеченности элементов антропоэкомодели к оценке ее динамики и диагностике, т.е. к управленческому аспекту.

Таким образом, мы переходим от статического оценивания к динамическому анализу и, собственно, — к категории «антропоэкопоток». Наиболее релевантным подходом к исследованию последнего является, на наш взгляд, процессный подход, предоставляющий возможность более глубоко проанализировать условия изменений и описать объект в состояниях «до/после».

В формализованном виде антропоэкопоток может быть представлен (см. также рис. 4):

$$A_f = f(P_z^*; \Delta E_f; T), \quad (2)$$

где P_z^* — процессы на z -этапе, являющиеся результатом изменений базового уровня сбалансированности ресурсов и элементов в момент t_0 до фактического значения в период t_1 по фазам процесса; $z = 1, \dots, k$; T — фактор времени; E_f^* — итоговая оценка результативности в процессах изменений, формирующих антропоэкопоток; $E_{f(P_{k2}-P_{k1})}$ — оценка изменения в процессах обмена и взаимодействия (расстояние между векторами) в различные моменты времени (t_0 ; t_1) на различных фазах жизненного цикла антропоэкомодели:

$$E_{f(P_{k2}-P_{k1})} = \sqrt{(E_{i2} - E_{i1})^2 + (R_{j2} - R_{j1})^2}, \quad (3)$$

где E_{ii} — относительная оценка обеспеченности элемента i антропоэкомодели ресурсами вида j в период t ; R_{ji} — относительная оценка соответствия ресурсов вида j ресурсу вида i элементу антропоэкомодели в период t .

Расстояние между векторами, полученными в результате обработки матриц исходных оценок, является универсальной оценкой пошаговых изменений в траектории движения антропоэкомодели с учетом фактора времени.

Соответственно, по нашему мнению, использование в анализе межпредметного подхода способствует трансформации традиционных методов оценки результативности различных процессов социального и экономического взаимодействия в аспекте выделения структурных элементов антропоэкомоделей, их ресурсной обеспеченности, процессов взаимодействия и поведения.

Так, представленный этап изучения динамических параметров антропоэкопотока предполагает детальную проработку исходных оценок матриц E_{ii} и R_{ji} , а именно оценки обеспеченности элементов i антропоэкомодели ресурса вида j в период t ; оценки соответствия ресурса вида j элементу i антропоэкомодели в период t . Эти оценки имеют относительную природу, они конкретны, объективны, но отражают конкретный класс антропоэкомоделей, а также этап жизненного цикла (это скорее субъективные оценки перехода из одной стадии в другую по набору заданных критериев). Учитывая недостаточность и размытость разработанных к настоящему времени классификации антропоэкопотоков, мы предполагаем, что конкретизация набора метрик и набора правил и критериев является предметом дальнейших исследований. В то же время изучение сбалансированности элементов, ресурсов и процессов как паттернов, метаданных и ракурсов дает возможность абстрактно подойти к проблеме изучения поведения антропоэкопотоков для перехода к оценке результативности, а значит, позволяет заложить управленческий базис и формировать сценарии поведения.

Таким образом, соотношение абстрактного и конкретного развивает методологические принципы междисциплинарного подхода к построению моделей поведения антропоэкосистем. Построение данных моделей позволяет решать следующие исследовательские задачи. Во-первых, конкретизировать уровни оценивания с учетом типа антропоэкосистем. Во-вторых, использовать сбалансированный подход к выбору метрик и возможность оценивать с учетом набора правил. В-третьих, повышать степень простоты оценки на основе векторной алгебры и давать возможность расширения арсенала математического инструментария с использованием методов свертки и алгебры кортежей. В-четвертых, обеспечивать целесообразность привлечения OLAP-кубов для создания транзакционной базы данных исходных оценок обеспеченности элементов антропоэкомодели ресурсами. В то же время, по нашему мнению, важно отметить, что в рамках предлагаемого междисциплинарного подхода выбор того или иного инструмента опирается на оценку поведения антропоэкосистем с учетом их потоковых характеристик. Исходя из этого, базу построения OLAP-кубов могут формировать не только обычные SQL-запросы, но и пространственные типы данных, полученные путем использования методов индексирования на основе R-деревьев (R-Tree index) и сеток (Grid-based Spatial index).

В отдельных случаях, связанных с невозможностью четко описывать параметры E_{ii} и R_{jj} , а также необходимостью повышать уровень агрегирования параметров, по нашему мнению, будет правильным перейти к итерационному варианту (уйти от временных интервальных оценок).

Исследование динамических свойств антропоэкотока предполагает включение в анализ времени как доминантного фактора. В то же время задача оценки эффективности управленческих решений здесь предполагает учет влияния циклического характера возникающих ограничений и экстерналий. Соответственно, возникает необходимость выделить контрольные точки, особые «срезы» — как управленческие регуляторы. Даже несмотря на то что движение в этом сложном фазовом пространстве является хаотичным, задача управления и вмешательства остается и требует решения. По нашему мнению, роль таких регуляторов могут играть институты и политика в области регулирования.

Учитывая, что характер поведения антропоэкотока является нелинейным, оценка зависимостей в нем может осуществляться путем использования принципа самоподобия структур (антропоэкомодели) и фрактальной размерности антропоэкотока. Чем более изменчивы структурные характеристики антропоэкомодели и изменчив антропоэкоток (как результат структурной трансформации базовой антропоэкомодели), тем больше его фрактальное число. По смыслу такое число может отражать уровень ее динамики. Алгоритм изучения фрактальной размерности как меры неопределенности при описании поведения принципами нелинейной динамики изложен в более ранних работах авторов (Загорная, 2013).

Для целей визуализации характера динамики антропоэкомодели используем интервальные характеристики от $(-1,5)$ до $(+1,0)$ прироста фрактальной броуновской функции $B_H(t)$.

Опираясь на выявленные характеристики антропоэкомодели и антропоэкотока, антропоэкосистема может быть представлена как институциональная матрица и критерии развития антропоэкосистемы (см. рис. 5), а также как формализованная структура, отражающая динамическую оценку изменения процессов поведения антропоэкосистем:

$$A_s = f(B_H(t); E_f^*; I_s; Y_f), \quad (4)$$

где $B_H(t)$ — прирост фрактальной броуновской функции (Fractal Brownian Motion) для оценки фрактальной размерности; $\Delta B_{H(t)} = B_{H(t)} - B_{H(t-1)}$; E_f^* — оценка результативности в процессах изменений, формирующих антропоэкоток в соответствии с критериями роста сбалансированности преодоления негативных экстерналий; I_s — институты субъект-объектного типа, вовлеченные в систему регуляторов, норм и правил, формирующие управленческую и информационную среду процессов обмена, взаимодействия и обратной связи между контрагентами, $s = 1, \dots, p$; Y_f — «выходы системы» — критерии роста качества жизни населения, национального богатства, инфраструктурного развития, формирования человеческого капитала; G_c — институциональные ограничения и регуляторы, системы мер государственного регулирования.

Учитывая, что фрактальная размерность в конкретных условиях фазового пространства иллюстрирует степень неопределенности поведения антропоэкомодели, отметим, что управленческие воздействия и условия принятия управленческих решений напрямую формируют

институциональные условия и «выходы системы», а значит, открывает новое поле для научного поиска методов и моделей в рамках предлагаемого междисциплинарного подхода.

Таким образом, исследование антропоэкосистемы — как набора правил и ограничений для антропоэкотоков в различных пространствах их деятельности с учетом структурного самоподобия и фрактальной размерности — представляет собой институциональную матрицу, связи и динамики процессов, проникающие во все их взаимосвязи и взаимоотношения. Фактически антропоэкосистема становится одновременно несущей конструкцией и конституирующим элементом в модели системы «человек — природа — общество».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были обоснованы и уточнены ключевые положения междисциплинарного подхода к анализу процессов взаимодействия между экономической деятельностью человека и происходящими природными процессами, необходимого для понимания долгосрочного устойчивого развития регионов и национальных экономик. Контекстный анализ понятий экосистемы позволил определить синтетическое понимание антропоэкосистемы, обладающей совокупностью свойств, рассмотренных в работе, явлений, а также таких новых элементов, как информационное поле, знания, технологии и др.

На основе междисциплинарного подхода авторами было предложено развитие методологии разработки моделей поведения антропоэкосистем на принципах изучения статистики внутренних компонентов (структура) и динамики ее развития (процессы). С использованием фрактального метода описания нелинейности построена институциональная матрица антропоэкосистемы, описывающая наборы правил и ограничений для антропоэкотоков в различных пространствах с учетом структурного самоподобия и фрактальной размерности — как параметра ее динамики.

Результаты настоящего исследования развивают теоретическую концепцию антропоэкосистем как сложных динамических систем, интегрируя представления об экосистемах и антропоэкосистемах с учетом их свойств, — адаптивности, цикличности, обратной связи, прямого и обратного масштабирования. Одновременно усовершенствован математический инструментарий системно динамического описания антропоэкосистем за счет включения в них институционального компонента.

Дальнейшее развитие этой области исследования может быть связано с обоснованием междисциплинарного подхода как междисциплинарной области знаний и апробацией предложенных антропоэкомоделей на конкретном материале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Бельский В.Ю.** (2016). Антропоцентрический подход в цивилизационных исследованиях // *Социально-гуманитарное обозрение*. № 1. С. 10–12. [**Belskiy V. Yu.** (2016). Anthropocentric approach in civilizational studies. *Social-Humanitarian Review*, 1, 10–12 (in Russian).]
- Бир С.** (2009). *Мозг фирмы*. Пер. с англ. М.М. Лопухина. М.: Librocom. 416 с. [**Beer S.** (2009). *Brain of the firm*. Moscow: Librocom. 416 p. (in Russian). Originally published by Allen Lane the Penguin Press, 1972.]
- Гаранина О.Д.** (2013). Человек в зеркале системной методологии // *Фундаментальные исследования*. № 8–1. С. 210–214. [**Garanina O.D.** (2013). The person in the mirror of system methodology. *Fundamental Researches*, 8–1, 210–214 (in Russian).]
- Гринин Л.Е., Коротаев А.В., Малков С.Ю.** (2008). Математические модели социально-демографических циклов и выхода из «мальтузианской ловушки»: некоторые возможные направления дальнейшего развития. В сб.: «Проблемы математической истории: математическое моделирование исторических процессов». Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев (отв. ред.). М.: URSS, Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша. 208 с. С. 78–117. [**Grinin L.E., Korotayev A.V., Malkov S.Yu.** (2008). Mathematical models of socio-demographic cycles and escape from the «Malthusian trap»: some possible directions for further development. In: *Problems of mathematical history: Mathematical modeling of historical processes*. G.G. Malinetsky, A.V. Korotayev (resp. eds.). Moscow: URSS, The Keldysh Institute of Applied Mathematics. 208 p. (in Russian).]
- Гринь С.О., Кузнецов П.В., Главчев М.И.** (2005). Информационное поле антропоэкосистемы и его проблемы // *Вестник НТУ ХПИ. Серия: Информатика и моделирование*. № 56. С. 206–209. [**Grin S.O., Kuznetsov P.V., Glavchev M.I.** (2005). The information field of the anthropoecosystem and its problems. *Bulletin of*

- the National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Computer Science and Modeling*, 56, 206–209 (in Russian).]
- Ершова Г.Г. (2013). Воспроизводство научного знания и технологий как характеристика антропосистемы // *Мир психологии*. № 3 (75). С. 50–65. [Ershova G.G. (2013). Reproduction of scientific knowledge and technologies as a characteristic of the anthroposystem. *World of Psychology*, 3 (75), 50–65 (in Russian).]
- Загорная Т.О. (2013). *Конкурентная динамика розничной торговли: теория, диагностика, моделирование*. Донецк: Издательство «Ноулідж» (донецьке відділення). 463 с. С. 306–311. [Zagornaya T.O. (2013). *Competitive dynamics of retail trade: Theory, diagnostics, modeling*. Donetsk: Publ. house «Knowledge» (Donetsk Department), 463, 306–311 (in Russian).]
- Загорная Т.О., Коломышева А.О. (2023). Теоретико-методологический инструментарий диагностики межсостояний экономических систем // *Новое в экономической кибернетике*. № 4. С. 109–124. [Zagornaya T., Kolomytseva A. (2023). Theoretical and methodological toolkit for. *New in Economic Cybernetics*, 4, 109–124 (in Russian).]
- Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. (2007). *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура*. М.: КомКнига. 224 с. [Korotaev A.V., Malkov A.S., Khalturina D.A. (2007). *The Laws of history: Mathematical modeling of the development of the World-System. Demography, economics, culture*. Moscow: KomKniga. 224 p. (in Russian).]
- Лепехин В.А. (2014). Обоснование актуальности антропологического подхода в исследовании русско-российской цивилизации // *Образование. Наука. Научные кадры*. № 12. С. 274–278. [Lepekhin V.A. (2014). Justification of the relevance of the anthropological approach to the study of Russian civilization. *Education. Science. Scientific Personnel*, 12, 274–278 (in Russian).]
- Лепехин В.А. (2016). Антропологический переворот. Поворот, разворот или все-таки переворот? // *Философские науки*. № 4. С. 149–152. [Lepekhin V. (2016). Anthropological revolution. Turn, reversal or is it a revolution? *Russian Journal of Philosophical Sciences*, 4, 149–152 (in Russian).]
- Ложилина М.А., Петрова Е.В. (2015). Информационная среда как часть антропоэкосистемы: философский анализ // *Известия МГТУ «МАМИ»*. Т. 6. № 1 (23). С. 82–88. [Loshilina M.A., Petrova E.V. (2015). The information environment as a part of the anthropoecosystem: A philosophical analysis. *Izvestia MGTU “MAMI”*, 6, 1 (23), 82–88 (in Russian).]
- Малков С.Ю. (2009). Социальная самоорганизация и исторический процесс. Возможности математического моделирования. М.: ЛИБРОКОМ. 209 с. [Malkov S.Yu. (2009). *Social self-organization and the historical process. The possibilities of mathematical modeling*. Moscow: LIBROCOM. 209 p. (in Russian).]
- Малков С.Ю., Коротаев А.В., Гринин Л.Е., Гринин А.Л. (2022). Моделирование глобальных фазовых переходов // *История и современность*. № 3 (45). С. 102–125. DOI: 10.30884/iis/2022.03.06 [Malkov S.Yu., Korotaev A.V., Grinin L.E., Grinin A.L. (2022). Modeling of global phase transitions. *History and Modernity*, 3 (45), 102–125. DOI: 10.30884/iis/2022.03.06 (in Russian).]
- Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В. III. (1991). *Пределы роста*. М.: Изд-во МГУ. 361 с. [Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W. III. (1991). *The limits to growth*. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 361 p. (in Russian). Originally published by Universe Books, 1972.]
- Петрова Е.В. (2014). *Человек в информационной среде: социокультурный аспект*. М.: ИФРАН. 137 с. [Petrova E.V. (2014). *Man in the information environment: A sociocultural aspect*. Moscow: IFRAN. 137 p. (in Russian).]
- Петрова Е.В. (2017). Проблема природной и социальной адаптации человека в искусственно созданной окружающей среде // *Проблема соотношения естественного и социального в обществе и человеке*. № 8. С. 19–28. [Petrova E.V. (2017). The problem of natural and social adaptation of a person in an artificially created environment. *The Problem of the Ratio of Natural and Social in Society and Man*, 8, 19–28 (in Russian).]
- Преображенский В.С., Райх Е.Л. (1984). География и развитие экологии человека // *Известия АН СССР. Серия географическая* № 5. С. 5–14. [Preobrazhensky B.C., Reich E.L. (1984). Geography and development of human ecology. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5, 5–14 (in Russian).]
- Преображенский В.С., Райх Е.Л. (1988). Основные понятия и модели экологии человека. В сб.: «*Экология человека: основные проблемы*». М.: Наука. 220 с. [Preobrazhensky B.C., Reich E.L. (1988). Basic concepts and models of human ecology. In: *Human ecology: The main problems*. Moscow: Nauka. 220 p. (in Russian).]
- Прохоров Б.Б. (1999). *Экология человека. Понятийно-терминологический словарь*. М.: Изд-во МНЭПУ. 348 с. [Prokhorov B.B. (1999). *Human ecology. Conceptual and terminological dictionary*. Moscow: International Independent University of Environmental and Political Sciences Publ. House. 348 p. (in Russian).]
- Резник Ю.М. (2012). Человек в системе или система в человеке. В сб.: *Спектр антропологических учений*. Вып. 4. М.: ИФ РАН. 159 с. [Reznik Y.M. (2012). A person in a system or a system in a person. In: *Spectrum of anthropological teachings*, 4. Moscow: IF RAS. 159 p. (in Russian).]

- Сергейчик Е.М.** (2018). Философские основания антропологического подхода в постклассической науке // *Вестник Северного (Арктического) федерального ун-та. Серия: Гуманитарные и социальные науки*. № 3. С. 70–82. DOI: 10.17238/issn2227-6564.2018.3.70 [Sergeychik E.M. (2018). Philosophical foundations of the anthropological approach in post-classical science. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Humanitarian and Social Sciences"*, 3, 70–82. DOI: 10.17238/issn2227-6564.2018.3.70 (in Russian).]
- Тимохин В.Н.** (2007). *Методология моделирования экономической динамики*. Монография. Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд». 269 с. [Timokhin V.N. (2007). *Methodology of modeling economic dynamics*. Monograph. Donetsk: LLC "Yugo-Vostok, Ltd". 269 p. (in Russian).]
- Тоффлер Э.** (2004). *Третья волна*. М.: АСТ. 781 с. [Toffler E. (2004). *The third wave*. Moscow: AST. 781 p. (in Russian). Originally published as "The third wave: The classic study of tomorrow" by William Morrow Co. in 1980.]
- Ayres R.U.** (1994). *Ecosystem and the biosphere: Metaphors for human-induced material flows. Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development*. R.U. Ayres, U.E. Simonis (eds.). Tokyo, New York: United Nations University Press. 376 p.
- Cole L.C.** (1958). The ecosphere. *Scientific American*, 198, 83–96.
- Fitzhugh B., Butler V., Bovy K., Etnier M.** (2018). Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems. *Journal of Archaeological Science*, 23, 1–18. DOI: 10.1016/j.jasrep.2018.03.016
- Gillard A.** (1969). On terminology of biosphere and ecosphere. *Nature*, 223, 500–501. DOI: 10.1038/223500a0
- Goudsblom J.** (1977). *Sociology in the balance: A critical essay*. Oxford: Blackwell. 232 p.
- Goudsblom J.** (2002). Introductory overview: The expanding anthroposphere. In: B. Vries de, J. Goudsblom. *Mappae mundi: Humans and their habitats in long-term ecological perspective: Myths, maps and models*. Amsterdam: Amsterdam University Press. 448 p.
- Huggett R.J.** (1999). Ecosphere, biosphere, or Gaia? What to call the global ecosystem. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 6, 425–431.
- Ibisch P.L., Vega E.A., Herrmann T.M.** (2010). Interdependence of biodiversity and development under global change. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. *Technical Series no. 54*. (second corrected edition). 226 p.
- Kaffine A.G., Moussa A.Z., Adey S.A., Tidjani A., Mwapu P.I., Micha J.C.** (2021). Le lac Fitri: Un anthroposystème complexe et interactif. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 6 8, 3713–3923.
- Kuhn A., Heckelei T.** (2010). Anthroposphere. In: Speth P., Christoph M., Dieckrüger B. (eds.). *Impacts of global change on the hydrological cycle in west and northwest Africa*, 282–341. DOI: 10.1007/978-3-642-12957-5_8
- Odum E.P.** (1953). *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders. 367 p.
- Quilley S.** (2011). Entropy, the anthroposphere and the ecology of civilization: An essay on the Problem of "Liberalism in One Village" in the Long View. *The Sociological Review*, 59, 65–90. DOI: 10.1111/j.1467-954X.2010.01997_1.x
- Santos M.A.** (1975). *Ecology, natural resources, and pollution*. London, New York: Living Books, Diplomatic Press. 106 p. DOI: 10.1016/0013-9327 (76)90049-5
- Santos M.A., Filho W.L.** (2005). An analysis of the relationship between sustainable development and the anthroposystem concept. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 4, 1, 78–87.
- Tansley A.G.** (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16, 284–307.
- Willis A.J.** (1997). Forum. *Ecological Society, Functional Ecology*, 11, 268–271. DOI: 10.1111/j.1365-2435.1997.00081.x

Developing a methodology for creating anthropocosystem behavioral models using an interdisciplinary approach

© 2025 T.O. Zagornaya, A.G. Shelomentsev, K.S. Goncharova, A.O. Kolomytseva

T.O. Zagornaya,

Donetsk State University, Donetsk, Russia; e-mail: t.zagornaya1977@mail.ru

A.G. Shelomentsev,

Institute for Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; e-mail: a.shelom@yandex.ru

K.S. Goncharova,

Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; e-mail: ksenia.gon4arowa@gmail.com

A.O. Kolomytseva,

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; e-mail: a.o.kolomytseva@urfu.ru

Received: 04.05.2024

This study was carried out as part of the state order to UFRC RAS no. 075-01134-23-00 for 2025 and for the planning period of 2026 and 2027.

Abstract. A long-term sustainable development of countries and regions is determined by the nature and quality of the interaction of human economic activity with the environment. Today, at a time of growing shortage of critically needed resources, global and regional anthroposystems are facing a complex environmental crisis. This crisis is also manifesting in profound social and geopolitical changes. The purpose of this work is to substantiate a transdisciplinary approach to modeling flexible and adaptive high-order systems, which allows integrating concepts and data from economic, political, anthropological, environmental and biological research based on systems' theory. The paper suggests that a synthetic analysis of the interaction of groups of factors different in their characteristics and the dynamics of economic growth of national economies is possible within the framework of an interdisciplinary approach to complex modeling of the behavior of anthropocosystems, where special attention is paid to the dynamics of their changes, taking into account the degree of their adaptability (provided through the activities of relevant institutions). On the basis of an interdisciplinary approach, a methodology for developing behavioral models of anthropocosystems was developed, and a set of structural models was proposed that allows studying the interaction of resources, elements and processes in anthropocomodels, predicting the vector of changes and managing the processes considered in the study, taking into account their complexity.

Keywords: economic and mathematical modeling, dynamic systems, anthropocomodels, anthropocosystems, interdisciplinary approach, sustainable development, socio-economic development.

JEL Classification: C02, C61, O1.

UDC: 330, 330.35, 330.46.

For reference: **Zagornaya T.O., Shelomentsev A.G., Goncharova K.S., Kolomytseva A.O.** (2025). Developing a methodology for creating anthropocosystem behavioral models using an interdisciplinary approach. *Economics and Mathematical Methods*, 61, 1, 5–17. DOI: 10.31857/S0424738825010018 (in Russian).