

КАРТОГРАФО-ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

В системе количественного описания устойчивого развития важнейшими составляющими являются собственно модели, а также интегрированные их сочетания сценарного типа, реализуемые для различных пространственно-временных уровней организации социально-экономических территориальных систем. Модели являются своеобразным связующим звеном между индикаторами устойчивого развития и сценариями развития ситуации, т.е. анализом и прогнозом.

В настоящее время различают два типа моделирования [1]: аналитическое (статическое) и имитационное (динамическое).

В аналитической модели выход функционально зависит от входа (набора параметров), и в этом смысле она – статическая; такую модель можно реализовать в виде электронных таблиц. Имитационную модель можно рассматривать как множество правил (дифференциальных уравнений, карт состояний, автоматов, сетей и т.п.), которые определяют, в какое состояние система перейдет в будущем из заданного текущего состояния. В общем случае, для сложных проблем, где время и динамика очень важны, имитационное моделирование представляет собой более мощное средство анализа.

Среди имитационных моделей широкое распространение получили следующие подходы [1]:

- дискретно-событийное моделирование (пассивные объекты, потоковые диаграммы или сети, ресурсы);
- агентное моделирование (активные объекты, динамика среды, индивидуальные правила поведения, прямое и не прямое взаимодействие);
- динамические системы (переменные состояния, блок-схемы, алгебро-дифференциальные уравнения);
- системная динамика (непрерывность, обратные связи, комплекс динамических систем).

В 1970 г. Форрестер разработал модели “Мир-1” и “Мир-2”, включив в них население, производство сельскохозяйственной и промышленной продукции, природные ресурсы и загрязнение окружающей среды, и продемонстрировал членам Римского клуба первые машинные прогоны этих моделей.

На основе первых моделей Форрестера была создана модель “Мир-3”, и результаты исследования были опубликованы в 1972 г. под названием «Пределы роста», а в 1992 году доработанные за двадцать лет в книге «За пределами роста» [2].

В ответ на критику первых моделей Римский клуб предложил новый проект – “Стратегия выживания”, который был реализован под руководством М. Месаровича и Э. Пестеля (1974 г.). Целью этого исследования было проанализировать большее количество факторов по сравнению с предшествующим проектом, способных имитировать развитие, исследовать возможности локализации кризисов, найти пути их предотвращения. Мир в модели Месаровича-Пестеля представлен в виде десяти регионов, взаимодействующих через импорт-экспорт и миграцию населения.

В последние десятилетия метод моделирования природных и социально-экономических систем приобрел особую популярность. Из последних наиболее значимых и распространенных моделей устойчивого развития отметим модели AIM, GLOBIO и МАБ-6 [3, 4, 5].

Интегрированная модель Азиатско-Тихоокеанского региона (Asian Pacific Integrated Model - AIM) это своего рода многофакторная модель для сценарного анализа эмиссии в атмосферу парниковых газов и оценки воздействия глобального потепления на регион. Модель является комплексной и включает в себя три основные блока: модель эмиссии парниковых газов (AIM/emission model), модель глобальных климатических изменений (AIM/climate model) и модель воздействия климатических изменений, происходящих в предыдущих двух моделях на производство первичной продукции и здоровье населения (AIM/impact model). Каждая из них описывает поведение своей системы, а в совокупности, они дают представление об изменениях связанных с глобальным потеплением.

Все количественные данные в модели AIM привязаны к системе географических координат с пространственным разрешением регулярной сетки 2,5' x 2,5'. Это позволяет составлять объективные сценарии, основанные на возможностях картографического моделирования. Именно поэтому AIM является одной из наиболее признанных моделей не только в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, но и во всем мире.

Данные, полученные в рамках этой модели, используются многими правительственными, межправительственными и общественными организациями. На них также часто основываются другие модели, занимающиеся сценарным анализом, например ГЕО-3 [6].

Другим развитым подходом в моделировании устойчивых территориальных систем является модель GLOBIO - глобальная методология для картирования антропогенных воздействий на биосферу [5]. GLOBIO, по существу, представляет собой серию карт и космических снимков Земли, обеспечивающих широкий картографический анализ территории. На основании сравнения карт, показывающих прошлое определенной территории с современным состоянием, выявляются тенденции развития инфраструктуры общества и ее расширение на естественные экосистемы.

Это дает возможность составлять прогнозные карты, наглядно показывающие динамику антропогенного воздействия в прошлом, настоящем и будущем, на основании чего возможно построение разнообразных сценариев. Методологические предпосылки GLOBIO состоят в идее, что любые формы воздействия имеют кластерную привязку (зоны воздействия), вокруг которых находятся своеобразные

буферные зоны. Это открывает широкие возможности для классификации территорий по степени антропогенной трансформации.

Наиболее значимой моделью в рамках подхода GLOBIO является так называемая Глобальная Модель Биоразнообразия (Global Biodiversity Model) – GBM. Основной целью её создания было получить полностью интегрированную динамическую модель, показывающую изменения уровня биоразнообразия в зависимости от экологических изменений среды. Модель имеет пространственную привязку, полностью совместима с ГИС-данными и описывает широкий спектр причин экологических изменений (например, климатические, использование территорий, развитие инфраструктуры и т.д.). Воздействие на биоразнообразии оценивается путем интеграции всех пространственных данных.

Сценарная техника подхода основывается на возрастании площади зон воздействия и использования регрессионного анализа, основанного на истории территорий или зафиксированного уровня роста инфраструктуры. Предполагается, что на большинстве территорий, воздействие инфраструктуры занимает определенные кластеры пространства, которые распространяются по градиенту от самой существующей инфраструктуры, с большей плотностью дорог на урбанизированных территориях и меньшей по периметру. Для локального или регионального анализа сохранившихся территорий применяется более продвинутый метод, в котором в расчет приняты пространственная структура, расстояние до других инфраструктур и доступность ресурсов.

Еще одна модель, на которой необходимо остановиться -- Швейцарская модель развития горных регионов МАБ-6. Эта модель была создана в рамках проекта №6 «Воздействие человека на горные экосистемы» институтом географии Бернского университета в рамках Программ ЮНЕСКО «Человек и Биосфера» (МАБ).

Основная идея этой модели [4] заключается в том, что экономическая и природная системы взаимодействуют в пространстве, в поле экономического производства и социального воспроизводства. Реальное использование пространства является выражением «живого» взаимодействия общества со средой, а также «образом» социальной организации и культурного развития. Ландшафт отражает этот исторический процесс, изменяясь под воздействием новых экономических и технических возможностей и, соответственно, меняющейся системы расселения.

Таким образом, система землепользования, объединяя процессы, протекающие в социально-экономической и природной системах, является важнейшим связующим звеном этих двух систем. Такое положение позволяет переводить в категорию пространственных и экологических показателей экономические, социальные и культурные процессы, описываемые на языке этих дисциплин.

Из этого следует вывод: система землепользования, которая постоянно обновляется и формирует новые связи между потребностями общества и способами реакции среды на новые воздействия, представляет собой динамическую систему, которая может быть оптимизирована в рамках системы «общество-среда».

Подытоживая приведенные сведения можно указать следующие принципы имитационного моделирования процессов системной динамики. В основе любой модели лежат определяющие её динамику параметры. Для процессов глобальных и региональных лучше всего отражают их специфику индикаторы устойчивого развития, в основе выделения которых положены принципы агрегированности, взаимосвязанности, высокой информативности и изменчивости. Значения индикаторов выражаются либо количественными, либо качественными результирующими. И те, и другие могут быть использованы в моделировании.

В этой связи выделяют способы моделирования: математическое и картографическое. При математическом моделировании используется набор дифференциальных уравнений, выражающих взаимосвязи параметров. Чаще всего для этих целей используются специализированные программные комплексы, например World 3, AnyLogic (<http://www.xjtek.ru>) [1] и т.д. Примерами таких моделей являются модели системной динамики Форрестера, Медоуза, Месаровича и Пестеля. Картографическое моделирование основывается на использовании цифровых карт и геоинформационных баз данных. Однако чаще оба подхода используются совместно – AIM, GLOBIO и т.д.

С учетом революционного развития геоинформационных технологий, позволяющих объединять базы данных пространственной информации с элементами автоматизированного геостатистического анализа, картографо-геоинформационные модели выделить в особый класс.

С одной стороны, они позволяют представлять результаты пространственного анализа факторов территориального развития в классической картографической форме. С другой стороны, вариативность анализа (возможность построения различных пространственных изображений путем наложения и комбинирования множества информационных слоев) приближает картографо-геоинформационные модели к построениям сценарного типа.

Вопросы построения картографо-геоинформационных моделей сценарного типа требуют системного осмысления: необходима многомерная их классификация, унификация способов и методик их построения на основе творческого использования уже существующего методологического аппарата комплексного системного картографирования и практики стратегического планирования устойчивого территориального развития.

Качество и эффективность моделирования устойчивого развития (УР) в значительной степени зависит от объема, номенклатуры исходных данных, а также от способов их предварительной подготовки для усвоения в используемых моделях. В целом, собственно данные и способ их организации, связанный с приданием им пространственной и тематической определенности (привязка к системе координат, либо к операционным территориальным единицам), можно назвать информационным базисом моделей устойчивого развития.

В этом плане, говоря о новых подходах к моделированию УР, очень редко упоминают о переходе на качественно новый уровень информационного базиса модели (т.е. о принципиально новом качестве - разнообразии, объеме, количестве, объеме и форме собираемых данных).

Важнейшим способом перехода информационного базиса моделирования УР на принципиально новый уровень является создание и внедрение в практику территориального планирования геоинформационных баз и банков данных

Анализ моделей устойчивого развития показал, что все они имеют элементарную пространственную базу обобщения исходных данных, неявно учитываемую в использующихся алгоритмах расчета. В качестве таких однородных элементов пространства могут выступать довольно крупные мировые регионы (15 – 20 до 100), государства, либо их административные единицы.

Иногда (модель GLOBIO), в качестве однородных пространств используются типы территорий, выделенные в результате дешифрирования космических снимков, либо на основе создания оценочных мелкомасштабных электронных карт мира. В качестве оценочных единиц, построенных на основе мелко- и среднемасштабных электронных карт территорий могут выступать и регулярные ячейки различного масштаба (в международной программе EMEP 50*50 км и т.д.).

Таким образом, операционные территориальные единицы (ОТЕ) являются важным элементом новой методологии планирования территориального развития. Их обоснование и выделение позволяет не только найти элементарный «атом территориального управления», но и генерировать на его основе детальные тематические оценочные карты, количество которых зависит, собственно говоря, от количества показателей в базе данных. Учитывая возможности автоматического расчета градиентных полей, оверлейного анализа геостатистических данных, это количество может быть весьма значительным.

В свою очередь, применение ОТЕ позволяет интегрировать даже разрозненную информацию по территориальным выделам. К примеру, можно картировать ареалы распределения видов животных и растений по данным точечных массовых наблюдений различных экспедиций, значительно разнесенных во времени. Кроме того, можно интерполировать в узлы сетки уже существующие региональные карты (почв, ландшафтов, рельефа), что позволит создавать базы данных для градиентных карт параметров типов местообитаний или экосистем.

Исходя из принципов иерархичного и полиструктурного характера организации ОТЕ, можно выделить несколько систем их классификации:

1. По уровню географической организации: элементные, компонентные и комплексные (ОТЕ различных уровней могут вступать в полиструктурные отношения, т.е. одновременно находиться в пределах одной и той же территории: к примеру, наложение почвенной и геоморфологической систем, плюс прохождение через них административной границы и т.д.);

2. По типу географической организации порождающих объектов: природные, хозяйственные, производственно-экономические и др., в этом случае, типология ОТЕ будет соответствовать типу территориальных геосистем ((природных, природно-антропогенных, природно-хозяйственных, производственно-экономических, социокультурных и т.д.);

3. По пространственно-временному уровню: макрорегиональные, региональные, мезо- и микрорегиональные, локальные ОТЕ.

Уровни географической организации характеризуют степень сложности ОТЕ. К элементному уровню относятся территории, выделенные по признаку однородности одного элемента или параметра. Это может быть, например, распределение температуры. Причем, признаком однородности здесь могут выступать такие критерии, как сумма температур большая определенного значения или средняя температура месяца.

Другими примерами ОТЕ элементного уровня могут служить ареалы распространения отдельных видов животных или сеть оросительных каналов, где каждый отрезок оросительной сети выступает как операционная территориальная единица для решения конкретной типологической задачи территориального управления.

При выделении ОТЕ компонентного уровня чаще всего оперируют природными компонентами, такими как почвы, гидросфера, геологическая среда и т.д. Но на данном организационном уровне, кроме природных, могут выделяться ОТЕ, связанные с техно- и социосферой. Принципы выделения ОТЕ данных типов не до конца ясны и требуют дальнейшего изучения. Комплексные ОТЕ - это территории, которые определяются как комплекс взаимосвязанных компонентных и элементных ОТЕ, приуроченных к ландшафтным комплексам различного ранга.

Природные ОТЕ – это территории, выделяемые по принципу относительной однородности величин, характеризующих природные процессы и явления. Для целей моделирования устойчивого развития ПТУ наиболее важными являются ОТЕ комплексного географического уровня организации, такие как, ландшафтные и бассейновые структуры.

Ландшафтные структуры выделяются по относительно однородному сочетанию природных ОТЕ компонентного (почвообразующие породы, почвы, литологическая основа и т.д.) и элементарного (рельеф, ареал распространения отдельных видов животных и т.д.) уровней. Бассейновые ОТЕ определяются латеральным переносом энергии и вещества. Границами бассейновых ОТЕ являются линии водоразделов.

Эти типы операционных единиц особо важны для приморских территорий, т.к. практически все они замыкаются на береговую линию ПТУ и являются природным базисом для выделения КУПЗ (комплексных систем управления прибрежной зоной моря).

Наиболее проработанной является задача выделения ОТЕ на базе схем административно-территориального деления, в разрезе которых дается основная часть данных социально-экономической статистики. Также к данному типу ОТЕ относятся территории, выделенные по признаку функционального назначения (типы современного использования территории, объекты ПЗФ, лесохозяйственные предприятия и т.д.).

Особым видом ОТЕ являются регулярные сетки, которые активно используются в различных научных направлениях и международных проектах для статистического обобщения информации. Важная функция сеток – интерполяция информации с тематических карт в ячейки геоинформационной базы данных соответствующего масштаба.

Так, для описания локальных типов местообитаний, характеризующих потенциальные ареалы распределения видов энтомофауны, необходимы данные для каждой ячейки по типу ландшафта, почв, гидротермических условий, растительности, современному использованию территории и т.д. В принципе, возможно решение и обратной задачи – по форме ареала возможна типология и картирование условий местообитаний.

Использование ОТЕ для целей моделирования устойчивого развития позволяет создать систему тематических природно-хозяйственных, социокультурных и производственно-экономических баз данных, являющихся эффективной основой для системного картографирования территории..

Практическое применение картографо-геоинформационных моделей было осуществлено нами в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка прогнозной модели устойчивого развития приморских территорий Украины», выполнявшегося по заказу Министерства науки и образования Украины в 2001 – 2004 годах.

В рамках проекта была создана геоинформационная база данных, включающая векторные и растровые электронные карты приморской зоны Украины, космоснимки с графическим разрешением около 30 м, данные социально-экономической статистики (в разрезе 5 областей, АР Крым и админрайонов, примыкающих к береговой черте), а также ряд опубликованных тематических карт территории.

В качестве операционных территориальных единиц для оценки тенденций устойчивого развития были выбраны контуры типов современного использования территории, в процессе анализа интегрировавшиеся в соответствующие функциональные макрозоны. К ним были отнесены: территории с различным уровнем производственно-градостроительного освоения, транспортно-коммуникационные, рекреационные, сельскохозяйственные (экс- и интенсивного развития), природоохранные, а также полифункциональные центры (с комплексом торгово-сервисных, рекреационных, промышленно-производственных и транспортно-коммуникационных функций).

В результате, для приморских территорий Украины были разработаны следующие информационные слои, визуализировавшиеся в форме соответствующих тематических электронных карт:

- укрупненная схема функционального зонирования на стратегическую перспективу;
- природоохранного потенциала (территории и объекты, требующие природоохраннх ограничений: водно-болотные угодья, места обитания редких видов, объекты природно-заповедного фонда Украины и др.);
- региональные экологические сети (биоцентры, биокоридоры и т.д.)
- прогноз изменения геостратегического потенциала (показывающий степень значимости отдельных ключевых территорий и объектов, приоритетных для планирования устойчивого развития, а также различные типы территориальных конфликтов).

В результате наложения ряда перечисленных информационных слоев была получена карта остроты территориальных конфликтов, отражавшая степень ограничений для устойчивого развития приморских территорий Украины.

При обосновании сценариев территориального развития и разработке картографо-геоинформационных моделей могут и должны использоваться различные виды оценок. В практике управления наиболее распространены сегодня виды экономических оценок потенциала (инвестиционного, природно-ресурсного), результатов и уровня комплексного социально-экономического развития регионов и экологического состояния территорий.

Учитывая множественность объектов моделирования, особенно на мезо- и микрорегиональном уровнях организации территориальных социально-экономических систем, в рамках решения задач такого уровня комплексности невозможно разработать для каждого из них комплекс моделей по переходу к устойчивому развитию. Поэтому, путем решения этой проблемы является выбор модельных (типичных) объектов для каждого уровня административно-территориального деления либо пространственно-временной организации приморских территорий, для каждого из которых разрабатывается свой класс картографо-геоинформационных моделей.

Таким образом, изложенные в работе положения позволяют считать достаточно обоснованным вывод о выделении картографо-геоинформационных моделей, как особого класса моделей устойчивого территориального развития. Важными элементами таких моделей являются геоинформационные базы и банки данных территориальной информации, а также система полиструктурных и полииерархических операционных территориальных единиц, состояние и тенденции развития которых оцениваются на основе индикаторов и показателей, характеризующих процессы развития природно-социально-экономических территориальных систем

Список литературы

1. Борщев А. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты [Электронный ресурс] – ООО «Экс Джей Текнолоджис» XJ Technologies и Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет – Режим доступа: www.xjtek.com.
2. Медоуз Х., Медоуз Л., Рендерс Й., Медоуз Д.Х., Медоуз Д.П., Рендерс Й. За пределами роста. / Под редакцией Г.А. Ягодина. – М.: Пангея, 1994. – 304 с.
3. Structure of the Asian-Pacific Integrated Model (AIM) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www-iam.nies.go.jp/aim/aimpamph>.
4. Баденков Ю.П. Горные районы в контексте устойчивого развития. Три модели развития // Материалы выездной сессии Объед. научного совета по фундаментальным географическим проблемам «Географические аспекты проблемы перехода к устойчивому развитию стран Содружества Независимых Государств» (Киев-Ворзель, 30 мая – 3 июня 1997 г.). – Киев-Москва. – С. 35–52.
5. Глобальная методология для картирования антропогенных воздействий на биосферу (GLOBIO) [Электронный ресурс]: // Режим доступа: <http://www.globio.info>.
6. Серия докладов ГЕО: ГЕО-3 [Электронный ресурс]: // Режим доступа: <http://www.grida.no/geo/geo3/index.htm>

Статья поступила в редакцию 20.05.05