ТЕОРИЯ РЕГИОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 910.1

А. М. Носонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ[1]

В статье рассматриваются особенности применения математического моделирования в социально-экономической географии. Проникновение математических методов в географию обусловлено необходимостью решения новых научных задач. Этому способствовало развитие соответствующих технических приёмов прикладной математики, которые развивались в соответствии с потребностями частных наук, в том числе и географии. Приведена структура процесса моделирования, показаны основные функции моделей: психологическая, собирательная, логическая, систематизирующая, конструктивная и познавательная. Дана классификация используемых в географии моделей, из которых наиболее широкое распространение получили многомерные математические модели, применяемые для типологии. Одним из наиболее перспективных методов моделирования геосистем и географических процессов является имитационное моделирование. Перечислены задачи современной социально-экономической географии, которые требуют применения методов моделирования, главной из которых является исследование структуры и функциональных зависимостей между компонентами территориальных систем. Представлены основные положения моделирования в географии, приведена классификация математико-географических моделей. Особо рассмотрены главные методологические проблемы моделирования в географии: большой сложностью и спецификой территориальных систем, динамичностью географических процессов, изменчивостью их параметров и структурных отношений, выбор наиболее адекватных моделей. Детально проанализированы главные этапы моделирования географических процессов и явлений. Делается вывод о необходимости расширения области использования моделей в географии.

***Ключевые слова**: модель, математические методы, математико-географическое моделирование, классификация, имитация, прогноз, территориальная система.*

Общие положения

Внедрение системного подхода в географию в 60-х гг. XX в. сопровождалось активным проникновением в научные исследования математических методов, и прежде всего, моделирования, что получило название «количественная революция» в географии. Это было связано с тем, что на данном этапе развития географии традиционные методы уже не могли обеспечить решение важнейших научных задач. Про-

1 Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-06-00200-а).

никновению математических методов в географию способствовало также развитие новых технических приёмов прикладной математики, которые развивались в соответствии с потребностями частных наук, в том числе и географии. «Математизация» географии стала возможной также в результате применения быстродействующих ЭВМ, которые позволили существенно сократить время на обработку огромной количественной информации.

Термин «модель» широко используется в различных сферах человеческой деятельности и имеет множество смысловых значений. В логике под моделью понимается такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал так, что его непосредственное изучение даёт новые знания об объекте-оригинале. В соответствии с данным определением *моделирование* представляет собой процесс построения, изучения и применения моделей.

Процесс моделирования обязательно включает и построение абстракций, и умозаключения по аналогии, и конструирование научных гипотез. Главная особенность моделирования в том, что это метод опосредованного познания с помощью объектов-заместителей. Модель выступает как своеобразный инструмент познания, который исследователь ставит между собой и объектом и с помощью которого изучает интересующий его объект. Именно эта особенность метода моделирования определяет специфические формы использования абстракций, аналогий, гипотез, других категорий и методов познания. Необходимость использования метода моделирования определяется тем, что многие объекты (или проблемы, относящиеся к этим объектам) непосредственно исследовать или вовсе невозможно, или же это исследование требует много времени и средств.

Процесс моделирования включает три элемента: 1) субъект (исследователь), 2) объект исследования, 3) модель, опосредствующую отношения познающего субъекта и познаваемого объекта. Предположим, что имеется или необходимо создать некоторый объект *A*. Конструируется (материально или мысленно) или находится в реальном мире другой объект *B* модель объекта *A*. Этап построения модели предполагает наличие некоторых знаний об объекте-оригинале. Познавательные возможности модели обуславливаются тем, что модель отражает какие-либо существенные черты объекта-оригинала. Вопрос о необходимости и достаточной мере сходства оригинала и модели требует конкретного анализа. Очевидно, модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом (тогда она перестает быть оригиналом), так и в случае чрезмерного во всех существенных отношениях отличия от оригинала.

Модели в географии выполняют разнообразные функции. П. Хаггет и Р. Дж. Чорли выделяют следующие функции моделей [1]:

– *психологическую* — возможность изучения тех объектов и явлений, которые чрезвычайно трудно исследовать иными методами;

– *собирательную* — определение необходимой информации, её сбор и систематизация;

– *логическую* — выявление и объяснение механизма развития конкретного явления;

– *систематизирующую* — рассмотрение действительности как совокупности взаимосвязанных систем;

– *конструктивную* — создание теорий и познание законов;

– *познавательную* — содействие в распространении научных идей.

В отличие от других средств познания модель, оставаясь средством, сама в то же время служит объектом исследования. При этом совершенно несущественно, создаётся ли модель человеком или в качестве моделей используются природные объекты, теоретические концепции, различные знаковые системы, выработанные в науке. Карта, описание, ключевая площадка равным образом могут служить моделью исследуемого объекта. Поэтому в самом широком смысле слова всякое познание можно трактовать как моделирование. Отождествление модели и теории, модели и знания вообще имеет гносеологическое основание в том, что формирование модели тесным образом связано с предшествующим знанием. Модель, в конечном итоге, это то, что остаётся после сведения проблемы к прежнему знанию.

Одной из важнейших характеристик модели является *упрощённое представление объекта*. При моделировании исследователь всегда абстрагируется от ненужных в данном отношении деталей объекта. Но это упрощение несколько иного рода, чем упрощение, которое присуще любому другому элементу знания.

Таким образом, модель является некоторой вспомогательной системой, изучение которой проще, доступнее, чем изучение самого объекта. Но эта система, чтобы давать объективную информацию о самом объекте, должна находиться в определённом соответствии с этим последним. Сама эта промежуточная система может быть самой разнообразной по исполнению — вещь, идея, символ равным образом могут выполнять функцию моделей.

В современной социально-экономической географии моделирование применяется для решения следующих задач:

1) выявление и изучение факторов территориальной организации природы и общества;

2) исследование структуры и функциональных зависимостей между компонентами территориальных систем (геосистем), объясняющих характер внутрисистемных связей и формирующих поведение системы;

3) рассмотрение динамики развития территориальных социально-экономических систем на разных этапах их исторического развития;

4) выявление и количественная оценка тесноты взаимосвязей между компонентами геосистем как внутри системы, так и между системой и средой;

5) разработка обобщающих (интегральных) показателей устойчивого функционирования и развития геосистем под воздействием различных факторов;

6) моделирование наиболее существенных свойств природных и социально-экономических территориальных систем — продуктивности, устойчивости, стабильности;

7) оценка степени антропогенного воздействия на природные геосистемы и здоровье населения;

8) географическое районирование и типология территориальных систем;

9) исследование динамики геосистем в целом и её отдельных элементов;

10) прогнозирование развития геосистем в определённый отрезок времени;

11) научное обоснование управления территориальными социально-экономическими системами.

Основные методологические проблемы моделирования в географии

Географические объекты, явления и процессы представляют собой обширнейший плацдарм для приложения самых разнообразных моделей. Однако при их моделировании возникают существенные трудности, связанные с тем, что модель представляет собой упрощение реальной системы, поэтому она не может полностью описать поведение реальных объектов, а в лучшем случае объясняет лишь некоторую малую часть действительного функционирования систем в целом. Другая сложность заключается в выборе правильного способа построения модели, который с одной стороны, был бы как можно проще, с другой — позволял лучше интерпретировать полученные результаты. Значительные затруднения связаны с большим количеством исходной информации, используемой при построении математических моделей и её неоднородностью. В результате этого многие модели общественного производства обладают рядом недостатков. Вот наиболее распространённые из них: а) многие модели неверно описаны; б) модели часто описываются упрощённо, без деталей, необходимых для понимания их работы; в) цели выглядят так, будто их сформулировали уже после построения моделей; г) разработчики моделей редко интересуются разбросом (статистическими характеристиками) величин, генерируемых моделью.

Другие трудности обусловлены особенностью самой математики, которая развивалась на протяжении многих столетий в основном в связи с потребностями физики и техники. Но главные причины этого заложены в природе географических объектов и процессов, в специфике географической науки. Главным объектом изучения географии являются территориальные природные и социально-экономические системы, которые в соответствии с кибернетическим понятием относятся к сложным системам. Важным свойством любых систем, в том числе территориальных, является *эмерджентность* — наличие таких качеств, которые не присущи ни одному из элементов, входящих в систему. Поэтому для понимания особенностей функционирования этих систем при изучении недостаточно рассмотрение только отдельных элементов. Сложность системы определяется количеством входящих в неё элементов, связями между этими элементами, а также взаимоотношениями между системой и средой. Территориальные образования обладают всеми признаками очень сложной системы. Они объединяют огромное число элементов, отличаются многообразием внутренних связей и связей с другими системами (природная среда, хозяйство, население и т. д.). В народном хозяйстве взаимодействуют природные, технологические, социальные процессы, объективные и субъективные факторы.

Поэтому часто сложность территориальных систем рассматривалась как обоснование невозможности их моделирования, изучения средствами математики. Однако в принципе моделировать можно объект любой природы и любой сложности. И как раз сложные объекты представляют наибольший интерес для моделирования, именно здесь моделирование может дать результаты, которые нельзя получить другими способами исследования. Потенциальная возможность математического моделирования любых географических объектов и процессов не означает её успешной осуществимости, а зависит и от уровня развития географических и математических знаний, имеющейся конкретной информации и вычислительной техники. Кроме того, всегда останутся проблемы, которые не поддаются формализации, и в этом случае математическое моделирование недостаточно эффективно.

Длительное время главной трудностью практического применения математического моделирования в географии было наполнение разработанных моделей конкретной и качественной информацией. Точность и полнота первичной информации, реальные возможности её сбора и обработки во многом определяют выбор типов прикладных моделей. С другой стороны, исследования по моделированию территориальных систем выдвигают новые требования к системе информации. В зависимости от моделируемых объектов и назначения моделей используемая в них исходная информация имеет различный характер и происхождение. Она может быть разделена на две категории: о прошлом развитии и современном состоянии объектов и о будущем развитии объектов, включая данные об ожидаемых изменениях их внутренних параметров и внешних условий (прогнозы). Вторая категория информации представляет результат самостоятельных исследований, которые также могут выполняться посредством моделирования. Многие географические процессы характеризуются закономерностями, которые можно выявить только на основе большого количества наблюдений.

Другая проблема порождается динамичностью географических процессов, изменчивостью их параметров и структурных отношений. Вследствие этого они должны постоянно находиться под наблюдением, чтобы иметь устойчивый поток новых данных. Поскольку наблюдения за географическими процессами и обработка эмпирических данных обычно занимают довольно много времени, то при построении математических моделей экономики требуется корректировать исходную информацию с учётом её запаздывания.

Познание количественных отношений географических процессов и явлений опирается на соответствующие измерения. Точность измерений в значительной степени предопределяет и точность конечных результатов количественного анализа посредством моделирования. Поэтому необходимым условием эффективного использования математического моделирования является совершенствование системы географических показателей. Применение математического моделирования заострило проблему измерений и количественных сопоставлений различных аспектов и явлений социально-экономического развития, достоверности и полноты получаемых данных, их защиты от намеренных и технических искажений.

Классификации моделей

Множественность определения моделей и их функций приводит к появлению большого количества подходов к их классификации и типологии (рис. 1). По форме представления информации модели делятся на *материальные* и *идеальные*. Группа материальных моделей (субстратно подобные, геометрические, аналоговые изоморфные) традиционны в географии. Это различные карты и макеты, воспроизводящие природные и социально-экономические объекты. Идеальные модели в зависимости от степени формализации делятся на *неформализированные (концептуальные)*, *частично формализированные* и *вполне формализированные* (математические и информационные). Концептуальные модели составляют фундамент любой науки. В географии наибольшее значение имеют такие концептуальные модели, как теория зональности, учение о биосфере В. И. Вернадского, концепция геосистемы В. Б. Сочавы, концепции территориального (географического) разделения труда, экономико-географического положения, территориальной организации общества в

социально-экономической географии и др. В частично формализованных моделях формализация информации осуществляется с помощью графических средств, рекомендаций, нормативных актов и т. п. Полностью формализованные модели отличаются высокой степенью абстракции и использованием богатейшего аппарата прикладной математики.

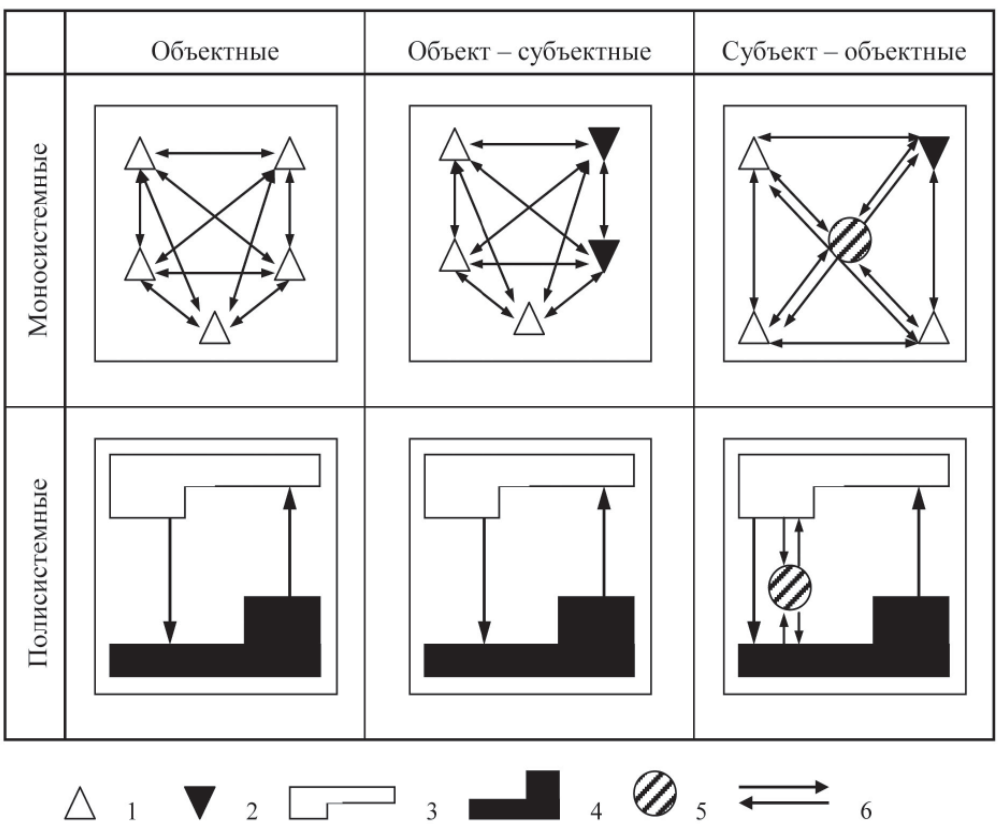

Рис. 1. Основные типы моделей, используемых в географии [4, с. 131]
Компоненты: 1 — природные; 2 — технические.
Территориальные подсистемы: 3 — природные; 4 — технические;
5 — субъект (компонент или подсистема); 6 — связи

Р. Дж. Чорли предложил структурную классификацию моделей, применяемых в географии [1].

I. *Модели — аналогии с естественными системами:* а) исторические аналогии; б) пространственные аналогии.

II. *Модели — специализированные системы:* а) конструкции (подобия и аналогии); б) математические (детерминистические и стохастические).

III. *Модели — общие системы:* а) синтетические; б) частичные; в) «чёрные ящики».

Различают также *описательные модели*, которые описывают реальные объекты с помощью определенной терминологии, и *нормативные*, которые используются для прогнозирования развития систем. Если описательные модели направлены на иссле-

дование структур равновесия, их называют *статическим*; если же упор делается на изучение процессов формирования и развития систем, модели являются *динамическим*. Рассмотрение временных явлений проводится в рамках *исторических* моделей. Если модель выполняет функцию упорядочения и систематизации информации, она называется *классификационной (таксономической)*.

В зависимости от соотношений, используемых в моделях, они делятся на *детерминистические* и *стохастические.* Первые позволяют полностью предсказать развитие моделируемой системы во времени и пространстве, основываясь на известных условиях и соотношениях. Стохастические (вероятностные) модели, напротив, основаны на случайных величинах. Они используются для обобщения событий, которые детерминированы различными факторами, а также для описания событий, на которые влияют случайные условия.

Согласно другой классификации модели делятся на две большие группы: вещественные (или материальные) и логические (или идеальные).

Вещественные модели существуют объективно, т. е. вне человека и его сознания. Они могут быть созданы руками человека из различных материалов с соблюдением геометрического подобия для получения наглядного образа действительности в экспериментальных или иных познавательных целях.

Логические (идеальные) *модели* создаются человеком. Они лишены наглядности, их внешний вид не имеет ничего общего с природой объекта. Но это отнюдь не означает, что они ложно отражают природу изучаемых явлений. Исследователь, проделывая логические операции с этими моделями, знает, что они адекватны реальности и каждому элементу таких моделей соответствуют определённые элементы изучаемых явлений. К идеальным моделям относятся так называемые теоретические, или концептуальные модели понятия науки, а также в определённой мере к ним можно отнести и описания объектов. Другим видом идеальных моделей является знаковая или символическая модель. С символическими моделями тесно связаны расчётные модели-формулы, где каждый символ имеет определённое значение и входит в жёсткую систему взаимоотношений с другими символами.

В исследовании территориальных социально-экономических систем применяются, главным образом, статистические, диффузные, балансовые динамические, матричные модели, модели теории исследования операций, частные модели типа «ресурс-потребитель» и аналогичные им, а также целая группа дискретных математических моделей.

Статистические модели строятся при допущении, что исследуемый процесс случаен и может быть изучен с помощью статистических методов анализа систем. Они включают: эмпирические и динамические статистические модели, корреляционный и факторный анализ, многомерное шкалирование, анализ временных рядов.

Динамические модели предназначены для прогнозирования развития геосистем под влиянием различных факторов. В основе динамического моделирования лежит описание системы с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, параметры которых определяют по эмпирическим данным.

Физико-статистические модели рассматривают систему как совокупность взаимодействующих элементов со случайными свойствами. В модель вводиться функция распределения показателей состояния и глобальная характеристика взаимодействия компонентов (энтропия, энергия или вещественный результат).

Распознавание образов — направление исследований, связанное с разработкой процедур определения принадлежности объекта к одному из заранее выделенных классов (образов). Оно применяется, например, для автоматизации типологии и районирования, идентификации очагов неблагоприятных природных процессов в геосистемах, исследования неоднородности территории на основе аэро- и космических фотоснимков.

Анализ временных рядов используется для прогноза периодических процессов по известному спектру частот. *«Диффузные»* модели используют аппарат уравнений переноса (диффузии). Область их применения — расчёт потоков вещества и энергии в относительно гомогенных или приближённых к ним средах, а также моделирование диффузии инноваций. *Балансовые модели* описывают динамику систем как совокупность процессов переноса вещества и энергии. В качестве математического аппарата используются обыкновенные дифференциальные уравнения. На основе *моделей теории исследования операций* решаются задачи оптимизации управления в условиях ограниченности ресурсов, т. е. когда значения переменных регламентированы. *Оптимизационные модели* широко применяются для автоматизированного проектирования различных технологий и планирования хозяйственного использования земель.

Различают модели *дескриптивные* и *нормативные*. Первые объясняют наблюдаемые факты или дают вероятный прогноз, вторые — предполагают целенаправленную деятельность. Дескриптивный подход в моделировании используется в географии для объяснения необходимости эмпирического выявления различных зависимостей, установления статистических закономерностей поведения отдельных систем, изучения вероятных путей развития каких-либо процессов при не изменяющихся условиях или протекающих без внешних воздействий.

Модели географических процессов чрезвычайно разнообразны по форме математических зависимостей. Особенно важно выделить класс *линейных* моделей, наиболее удобных для анализа и вычислений и получивших вследствие этого большое распространение. Различия между линейными и *нелинейными* моделями существенны не только с математической точки зрения, но и в теоретико-географическом отношении, поскольку многие зависимости в природе и экономике носят принципиально нелинейный характер. По соотношению экзогенных и эндогенных переменных, включаемых в модель, они могут разделяться на *открытые* и *закрытые*. Полностью открытых моделей не существует; модель должна содержать хотя бы одну эндогенную переменную. Подавляющее большинство экономико-математических моделей занимает промежуточное положение и различаются по степени открытости (закрытости).

Для моделей макроуровня важно деление на *агрегированные* и *детализированные*. В зависимости от того, включают ли математико-географические модели пространственные факторы и условия или не включают, различают модели *пространственные (континуальные)* и *точечные (дискретные)*.

Математико-географическое моделирование

Математическое моделирование геосистем, проводимое на уровне объектов и отношений между ними, связано с созданием логико-математических конструкций, отображающих количественные отношения реальных географических объектов. Процесс построения моделей ведётся по принципам математического модели-

рования на базе системного подхода с учётом специфики географического объекта. Получаемые при этом логико-математические последовательности величин, характеризующие состояние геосистем, образуют особые *математико-географические модели*, а сам процесс их создания и последующее получение по ним результатов носит название ***математико-географического моделирования*** (МГМ). В этом случае вторичным предметом исследования становятся логико-математические символы и их последовательности — формулы, уравнения и т. п., описывающие релевантные географические признаки оригинала. При МГМ привлекаются различные средства математического аппарата: теория вероятности, теория оптимальных процессов, теория множеств, эффективно используются методы математической физики, корреляционного анализа, счётные методы и др.

Математико-географические модели могут предназначаться для исследования разных сторон народного хозяйства (в частности, его производственно-технологической, социальной, территориальной структур) и его отдельных частей. При классификации моделей по исследуемым процессам и содержательной проблематике можно выделить модели народного хозяйства в целом и его подсистем отраслей, регионов и т. д., комплексы моделей производства, потребления, формирования и распределения доходов, трудовых ресурсов и пр.

Математико-географическое моделирование — сложный процесс, включающий ряд последовательных этапов (рис. 2).

Рис. 2. Схема математико-географического моделирования [6]

На первом подготовительном этапе ставится цель, и определяются задачи исследования. Этот этап включает выделение важнейших черт и свойств моделируемого объекта и абстрагирование от второстепенных; изучение структуры объекта и основных зависимостей, связывающих его элементы; формулирование гипотез (хотя бы предварительных), объясняющих поведение и развитие объекта.

Второй этап включает согласование задач исследования, установление логической последовательности их решения и подготовка исходной информации. Моделирование предъявляет жёсткие требования к системе информации. В то же время реальные возможности получения информации ограничивают выбор моделей, предназначаемых для практического использования. При этом принимается во внимание не только принципиальная возможность подготовки информации (за определённые сроки), но и затраты на подготовку соответствующих информационных массивов. Эти затраты не должны превышать эффект от использования дополнительной информации. В процессе подготовки информации широко используются методы теории вероятностей, теоретической и математической статистики.

На третьем этапе осуществляется построение математической модели. Это этап формализации географической проблемы, выражения её в виде конкретных математических зависимостей и отношений (функций, уравнений, неравенств и т. д.). Обычно сначала определяется основная конструкция (тип) математической модели, а затем уточняются детали этой конструкции (конкретный перечень переменных и параметров, форма связей).

Построение модели подразделяется в свою очередь на несколько стадий. Неправильно полагать, что чем больше фактов учитывает модель, тем она лучше «работает» и даёт лучшие результаты. То же можно сказать о таких характеристиках сложности модели, как используемые формы математических зависимостей (линейные и нелинейные), учёт факторов случайности и неопределённости и т. д. Излишняя сложность и громоздкость модели затрудняют процесс исследования. Нужно учитывать не только реальные возможности информационного и математического обеспечения, но и сопоставлять затраты на моделирование с получаемым эффектом (при возрастании сложности модели прирост затрат может превысить прирост эффекта).

После построения модели выясняются её общие свойства. Здесь применяются чисто математические приёмы исследования. Наиболее важный момент — доказательство существования решений в сформулированной модели (теорема существования). Если удастся доказать, что математическая задача не имеет решения, то необходимость в последующей работе по первоначальному варианту модели отпадает; следует скорректировать либо постановку экономической задачи, либо способы её математической формализации.

Следующий этап включает разработку алгоритмов для численного решения задачи, составления программ на ЭВМ и непосредственное проведение расчётов. Трудности этого этапа обусловлены, прежде всего, большой размерностью географических задач, необходимостью обработки значительных массивов информации. Обычно расчёты по математико-географической модели носят многовариантный характер. Благодаря высокому быстродействию современных компьютеров удаётся проводить многочисленные «модельные» эксперименты, изучая «поведение» модели при различных изменениях некоторых условий. Исследование, проводимое численными методами, может существенно дополнить результаты аналитического ис-

следования, а для многих моделей оно является единственно осуществимым. Класс географических задач, которые можно решать численными методами, значительно шире, чем класс задач, доступных аналитическому исследованию.

На заключительном этапе (анализ результатов) встает вопрос об адекватности полученных данных реальному объекту и о степени практической применимости последних. Математические методы проверки могут выявлять некорректные построения модели и тем самым сужать класс потенциально правильных моделей. Неформальный анализ теоретических выводов и численных результатов, получаемых посредством модели, сопоставление их с имеющимися знаниями и фактами действительности также позволяют обнаруживать недостатки постановки экономической задачи, сконструированной математической модели, её информационного и математического обеспечения.

Наиболее широкое распространение в географии получили многомерные математические модели, применяемые для типологии. Они подразделяются на две большие группы: первые строятся при условии гомогенности территориальных единиц внутри иерархически упорядоченных таксонов; вторые учитывают гомогенность объединяемых в одну группу таксономических единиц [5].

Одним из наиболее перспективных методов моделирования геосистем и процессов, протекающих в них, является *имитационное моделирование*. По словам известного в этой области учёного Р. Шеннона, «идея имитационного моделирования проста и интуитивно привлекательна, позволяет экспериментировать с системами, когда на реальном объекте этого сделать нельзя» [8, с. 7]. В основе этого метода теория вычислительных систем, статистика, теория вероятностей, математика.

Имитационное моделирование представляет собой формализацию эмпирических знаний о рассматриваемом объекте с использованием современных компьютеров. Большинство имитационных моделей построены по типу «чёрного ящика», т. е. сама система (её элементы, структура) представлены в виде «чёрного ящика»: есть какой-то вход в него, который описывается экзогенными переменными (возникают вне системы, под воздействием внешних причин), и выход (описывается выходными переменными), который характеризует результат действия системы.

В имитационном исследовании большое значение имеет этап оценки модели, который включает в себя следующие шаги:

1) верификация модели (модель ведёт себя так, как это было задумано исследователем);

2) оценка адекватности (проверка соответствия модели реальной системе);

3) проблемный анализ (формирование статистически значимых выводов на основе данных, полученных в результате экспериментов с моделью).

Большой интерес в имитационном моделировании представляет *метод системной динамики,* разработанный одним из крупнейших специалистов в области теории управления, профессором Джеем Форрестером. Его первая книга в этой области — «Кибернетика предприятия» — вызвала огромный интерес мировой науки к методу системной динамики в имитационном моделировании.

Начало глобальному моделированию положил другой труд Дж. Форрестера «Мировая динамика» [7]. Здесь он рассматривает мир как единое целое, как единую систему различных взаимодействующих процессов: демографических, промышленных, процессов исчерпания природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, процесса производства продуктов питания.

Имитационные эксперименты состоят из многократных расчётов по заданной модели при изменении входных параметров и предполагают целенаправленный поиск оптимальных решений, в частности касающихся рациональности взаимодействия природных и хозяйственных геосистем. Использование этих моделей позволяет качественно и количественно оценить варианты их функционирования при различных уровнях антропогенного воздействия с учётом естественной способности к самоочищению и самовосстановлению.

Область применения методов математического моделирования в географии непрерывно расширяется. Однако абсолютное большинство моделей основаны на линейных зависимостях между компонентами систем и между системами, что часто не позволяет описать даже самые существенные свойства исследуемого объекта. Эти методы оказываются неэффективными при моделировании сложных систем, изучение которых основано на использовании больших массивов данных при наличии аномалий пространственных и временных параметров. Для того, чтобы избежать эти недостатки при разработке моделей, необходимо использовать новые методы математического моделирования, существующие в точных науках. Для выявления свойств и пространственно-временных закономерностей функционирования территориальных систем перспективно применение новых для географических исследований математических методов: интегро-дифференциальных уравнений Фредгольма и Вольтера, сплайн-функций, функций Грина, структурной и параметрической идентификации, спектрального анализа, которые позволяют более точно описать сложные геосистемы на основе учёта разнообразных природных и социально-экономических факторов территориальной дифференциации геосистем. Данные методы моделирования развития территориальных систем позволяют дать более содержательную интерпретацию в условиях неопределённости среды и осуществить целенаправленный поиск устойчивого состояния и структуры геосистем в зависимости от степени антропогенной нагрузки и различной способности природных систем к самовосстановлению. Некоторые из этих методов использованы нами для решения ряда задач социально-экономической географии [2; 3].

Таким образом, накопленный в науке опыт системных исследований и моделирования создаёт благоприятные предпосылки для решения широкого круга вопросов, связанных с изучением территориальных систем, их взаимодействия друг с другом и окружающей средой, рационального использования природного потенциала территории.

Литература

1. Модели в географии: пер. с англ. / Под. ред. Дж Р. Чорли, П. Хаггета. М.: Прогресс, 1971. 384 с.

2. Носонов А. М. Моделирование экономических и инновационных циклов в сельском хозяйстве // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2014. № 1 (238). С. 24–33.

3. Носонов А. М. Территориальные системы сельского хозяйства (экономико-географические аспекты исследования). М.: Янус-К, 2001. 324 с.

4. Охрана ландшафтов. Толковый словарь / Под. ред. В. С. Преображенского. М.: Прогресс, 1982. 272 с.

5. *Тикунов В. С.* Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.-Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.

6. *Трофимов А. М., Игонин Е. И.* Концептуальные основы моделирования в географии (Развитие основных идей и путей математизации и формализации в географии). Казань: Изд-во «Матбугат йорты», 2001. 340 с.

7. *Форрестер Д.* Мировая динамика. М.: АСТ, 2006. 384 с.

8. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.

Об авторе

Носонов Артур Модестович — доктор географических наук, профессор кафедры экономической и социальной географии, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия.

E-mail: artno@mail.ru

A. Nosonov

MODELING IN SOCIAL AND ECONOMIC GEOGRAPHY

The article considers peculiarities of mathematical modeling application in social and economic geography. Penetrating of mathematical methods in geography is caused by new scientific problems. It was promoted by development of appropriate techniques of applied mathematics which were developed according to requirements of particular sciences including geography. The article describes the structure of modeling process and shows the main functions of models: psychological, collective, logical, systematizing, constructive and informative. The author gives a classification of the models used in geography: the most widespread among them are multidimensional mathematical ones used for the typology. One of the most perspective methods of modeling of geosystems and geographical processes is simulation modeling. 5ч Problems of modern social and economic geography which demand application of methods of modeling are listed, the main of which is the study of structure and functional dependencies between the components of territorial systems. Presented the main provisions of modeling in geography, classification of mathematical and geographical models. The major methodological problems of modeling in geography are especially considered: great complexity and specifics of territorial systems, dynamic of geographical processes, variability of their parameters and structural relations, choice of the most adequate models. The main stages of modeling of geographical processes and the phenomena are analyzed in details. Necessity of extensive use of models in geography is concluded.

Key words: *model, mathematical methods, mathematical geographical modeling, classification, imitation, forecast, territorial systems.*

About the author

Prof. **Artur Nosonov**, Department of Economic and Social Geography, N. P. Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia.

E-mail: artno@mail.ru