



ЛИТЕРАТУРА

1. *Бугаевский Л.М., Цветков В.Я.* Геоинформационные системы: Учебное пособие для вузов. М.:Златоуст, 2000.
2. Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2 т. 2-е изд., испр. Т. 2: Айвоян С.А. Основы эконометрики. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
3. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 2001.
4. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.Д. Плутенко.

УДК 528.087.4

© 2001 г. **В.Я. Цветков**, д-р техн. наук
(Московский государственный университет геодезии и картографии)

ГЕОИНФОРМАТИКА И СИНЕРГЕТИКА

Рассматриваются основы применения методов синергетики для анализа эффективности геоинформационных технологий и систем еще на уровне их проектирования и конструирования, что повысит надежность и качество геоинформационных исследований и геоинформационных решений.

В последние годы наблюдается рост интереса к междисциплинарному направлению, получившему название "синергетика" [11, 14].

Системы, составляющие предмет изучения синергетики, могут быть самыми различными и изучаться различными науками: социологией, лингвистикой, физикой, химией, биологией, математикой, нейрофизиологией, экономикой. Каждая из наук изучает системы своими методами и формулирует результаты на "своем" языке.

В отличие от специальных наук синергетика исследует общие закономерности развития систем разной природы. Абстрагируясь от специфики систем, синергетика описывает их эволюцию обобщенно, устанавливая связь явлений, изучаемых специфическими средствами различных наук.

Выявление общих свойств моделей разных систем на основе синергетического подхода позволяет использовать достижения одной области науки в других.

По Г. Хакену (создателю синергетического направления и автору термина "синергетика", профессора Штутгартского университета и директора Института теоретической физики и синергетики), синергетика занимается изучением систем, состоящих из большого числа частей, компонент или подсистем – одним словом, деталей, сложным образом взаимодействующих между собой.

Слово "синергетика" и означает "совместное действие", подчеркивая согласованность функционирования частей, отражающуюся в поведении системы как целого [11, 14].

Подобно тому, как кибернетике Винера предшествовала кибернетика Ампера, имевшая весьма косвенное отношение к науке об управлении, получении, передаче и преобразовании информации в кибернетических системах [9], синергетика Хакена имела своих предшественниц по названию: синергетику Ч. Шеррингтона, синергию С. Улана и синергетический подход И. Забуского. Подчеркнем, что во всех случаях речь идет о согласованном действии.

С. Улам – участник проверки гипотезы равномерного распределения энергии по степеням свободы на основе одного из первых численных экспериментов на ЭВМ первого поколения (ЭНИВАКе). Много работавший с ЭВМ, он понял всю важность и пользу синергии, т. е. непрерывного взаимодействия и взаимосогласования в системе человек – машина [10].

Решение проблемы Ферми-Пасты-Улама было получено в начале 60-х гг. М. Крускалом и Н. Забуским, доказавшими, что система Ферми-Пасты-Улама представляет собой разностный аналог уравнения Кортевега-де Вриза и что равномерному распределению энергии препятствует солитон (термин, предложенный Н. Забуским), переносящий энергию из одной группы мод в другую.

Забуский пришел к выводу о необходимости единого синтетического подхода. Согласно этому [16], синергетический подход к нелинейным математическим и физическим задачам можно определить как **совместное** использование анализа и численных методов для получения решений системы уравнений математического и физического содержания.

Синергетический стиль научного мышления включает в себя, с одной стороны, вероятностное видение мира. С другой стороны, синергетику можно рассматривать как современный этап развития кибернетики и системных исследований. Концепции и идеи теории самоорганизации нашли свое выражение в таких взаимосвязанных областях как теория диссипативных структур [7], теория детерминированного хаоса [14], теория катастроф [1].

По замыслу Хакена, синергетика призвана играть роль метанауки, выявляющей и изучающей общий характер тех закономерностей и зависимостей, которые частные науки считали "своими". Поэтому синергетика ведет исследования систем не на стыках наук, а исследует их обобщенно.

Можно найти общее в синергетике и семиотике, синергетике и общей теории систем (ОТС).

Различие определяется целями исследований. В семиотике доминирующим является лингвистический аспект исследования систем. В ОТС главным является анализ и построение модели сложной системы [12].

В семиотике главной целью исследований является аспект взаимосогласования частей системы и получения синергетического эффекта, т.е. эффекта, который дает система как целое и не дает в отдельности любая из ее частей или совокупностей частей. Аспект исследования самоорганизации дает основание определить синергетику как науку о самоорганизации. Этот же аспект позволяет рассматривать синергетику как науку, изучающую вопросы порядка и хаоса.

Подобно многим научным направлениям второй половины XX в., синергетика возникла не на пустом месте. Как, например, факторный анализ своим возникновением и постановкой задач был обязан исследованиям в области психологии, так и синергетику можно рассматривать как преемницу и продолжательницу многих разделов точного естествознания (теория колебаний, качественная теория дифференциальных уравнений и др.).

Здесь следует остановиться и отметить появление геоинформатики, которое относят к 80-м гг. XX в.

Подобно синергетике, геоинформатика возникла как обобщение и интеграция наук [5]. Основным объектом изучения геоинформатики являются не географические карты или география (геодезия)², а социально-экономические и природные явления, происходящие на земной поверхности. Основным методом исследования этих явлений в геоинформатике являются новые информационные технологии и информатика. Упрощенно геоинформатику можно рассматривать как синтез наук о Земле и информатики.

Геоинформатику, в отличие от синергетики, можно разделить на три основные части: фундаментальную, прикладную и специальную [13]. Геоинформатика является интеграцией ряда наук, поэтому, как и синергетика, ведет исследования систем не на стыках наук, а исследует их обобщенно, но использует синтез и интеграцию научных методов этих наук при решении теоретических и практических задач.

Синергетика дает в основном обобщенные решения, а геоинформатика – обобщенные решения на фундаментальном уровне исследований и конкретные решения на прикладном. Поэтому достаточно много параллелей можно найти между фундаментальной геоинформатикой и синергетикой.

Общей в обеих науках является проблема редукции большого числа измеряемых или наблюдаемых данных. Она решается либо сжатием ин-

² Существует ряд исследователей, придерживающихся подобных взглядов.

формации, либо применением методов статистической обработки, направленных на обобщение, фильтрацию данных и получение обобщенных оценок.

Сжатие информации осуществляется различными способами. Это не только классическое сжатие сигналов с использованием теоремы Шеннона-Котельникова, но и достаточное распространенное сжатие изображений, архивирование, построение пространства параметров процесса или явления, основанное на построении моделей.

Вместо отдельных наблюдаемых множеств данных синергетика и геоинформатика рассматривают обобщенные показатели и коллективные эффекты, производимые ансамблем подсистем. В обеих науках система и ее подсистемы характеризуются набором входных-выходных данных, наборами состояний и наборами параметров состояний.

Однако синергетика подходит к решению проблемы сжатия информации иначе, чем геоинформатика. Вместо большого числа факторов, от которых зависят различные состояния системы (компонент вектора состояния), синергетика рассматривает немногочисленные параметры порядка системы, от которых зависят компоненты вектора состояния системы и которые, в свою очередь, влияют на параметры порядка.

Переход от рассмотрения компонент вектора состояния системы к меньшему числу параметров упорядоченного состояния системы определяет один из основополагающих принципов синергетики – *принцип подчинения* (подчинение компонент вектора состояния параметрам порядка).

Редукционистский подход сопряжен с необходимостью обработки больших объемов информации. Он решается с помощью специальных методов, среди которых одним из распространенных является многофакторный анализ.

Фундаментальную геоинформатику, как и синергетику, можно рассматривать в качестве метанауки, позволяющей оценить степень общности результатов, моделей и методов отдельных наук.

Междисциплинарность синергетики и геоинформатики обуславливает важную их особенность как средства коммуникации между различными специальными науками.

Синергетика и геоинформатика рассматривают внешнюю среду как некую неравновесную систему. И та и другая исследуют условия равновесия или устойчивости объекта (системы) в данной среде. Это приводит к необходимости исследования структур среды и объектов в этой среде.

Одним из известных подходов к исследованию структур в неравновесных средах является теория нелинейных колебаний и волн, основоположником которой считается Л. И. Мандельштам [6]. Она позволяет рассматривать общую теорию структур в неравновесных средах как естественное развитие и обобщение на распределенные системы идей и подхода классической теории нелинейных колебаний [4].

Синергетика и геоинформатика используют структурный подход, суть которого, согласно Н. Бурбаки [3], заключается в том, что структуризация осуществляется на основе выявленных отношений между элементами системы как средство уменьшения нелинейности и неопределенности.

Синергетика и геоинформатика изучают вопросы самоорганизации в разной степени. Обе используют кибернетический подход, который сыграл важную роль в понимании многих существенных особенностей процессов самоорганизации.

Синергетический подход учитывает физические основы спонтанного формирования структур, а абстрактный кибернетический абстрагируется от конкретных материальных форм. Он, тем не менее, используется в геоинформатике при анализе задач управления, решаемых с помощью геоинформационных систем.

Структура и хаос также изучаются геоинформатикой и синергетикой. Позиция геоинформатики основана на том, что в большой степени хаос – это отсутствие информации о порядке исследуемых объектов (структурах, зависимостях, связях). Поэтому геоинформационные исследования направлены в первую очередь на анализ и упорядочение информации о внешней среде и объектах.

Исследования синергетики направлены на изучение аспектов и процессов самоорганизации. С этой позиции понятие "структура" в синергетике рассматривается как основа самоорганизации, т.е. способность объекта сохранять тождество самому себе при различных внешних и внутренних воздействиях.

В синергетическом понимании не существует единого, раз и навсегда данного образа порядка. Порядок предстает как развивающийся процесс. Синергетическая интерпретация порядка как процесса позволяет сгладить противоречия в понимании порядка и хаоса, сложившиеся в науке. Синергетический подход дает не столько различные модели порядка, сколько взаимодополняющие характеристики различных фаз единого процесса порядкаобразования.

Таким образом, в данном аспекте синергетический подход дополняет исследования геоинформатики.

Геоинформатика и синергетика изучают некую специфическую характеристику описания фигур и линий – так называемую фрактальную размерность. Мандельброт [15] обратил внимание на то, что довольно широко распространенное мнение, будто размерность является внутренней характеристикой тела, поверхности, тела или кривой, неверно (в действительности размерность объекта зависит от наблюдателя, точнее, от связи объекта с внешним миром).

Рассматриваем клубок ниток. Если велико расстояние от наблюдателя до клубка, он видит точку, лишенную какой бы то ни было внутренней структуры, т. е. геометрический объект с евклидовой размерностью 0.

Приближение клубка позволяет видеть его как плоский круг, т. е. как геометрический объект размерности 2.

Еще большее приближение клубка к наблюдателю позволяет видеть его в виде сферы, т.е. объектом размерности 3. При этом отдельные нити неразличимы.

Дальнейшее приближение к клубку позволяет увидеть его реальную структуру, т.е. то, что он состоит из нитей и его евклидова размерность равна 1.

Но если размерность зависит от конкретных условий, то ее можно выбирать по-разному. Мандельброт предложил использовать в качестве меры нерегулярности (изрезанности, извилистости и т. п.) определение размерности, предложенное Безиковичем и Хаусдорфом. Фракталь [15] – это геометрический объект с дробной размерностью Безиковича-Хаусдорфа.

Размерность Безиковича-Хаусдорфа всегда не меньше евклидовой и совпадает с последней для регулярных геометрических объектов (для кривых, поверхностей и тел, изучаемых в современном учебнике евклидовой геометрии). Разность между размерностью Безиковича-Хаусдорфа и евклидовой – избыток размерности – может служить мерой отличия геометрических образов от регулярных. Например, плоская траектория броуновской частицы имеет размерность по Безиковичу-Хаусдорфу больше 1, но меньше 2: эта траектория уже не обычная гладкая кривая, но еще не плоская фигура.

О степени упорядоченности или неупорядоченности (хаотичности) движения можно судить и по тому, насколько равномерно размазан спектр, нет ли в нем заметно выраженных максимумов и минимумов. Эта характеристика лежит в основе так называемой топологической энтропии, служащей, как и ее статистический прототип, мерой хаотичности движений.

В геоинформатике теория фракталов, или фракталов, широко используется при построении картографических поверхностей и при анализе изображений, т.е. носит прикладной характер. В синергетике этот подход применяется как средство анализа обобщения, т.е. на уровне методологии и теории.

Многоуровневость исследования. Г.Хакен предлагает классификацию уровней описания системы, содержащую три уровня: микроскопический, мезоскопический и макроскопический [14].

На микроскопическом уровне рассматривается динамика отдельных элементов – атомов, молекул и т.п., описываемая с помощью величин, характеризующих эти элементы: например, положений и скоростей атомов. На мезоскопическом уровне рассматриваются ансамбли элементов, вводятся усредненные величины, характеризующие эти ансамбли: например, концентрация, плотность, температура и т.д., не применимые на микроскопическом описании. Наконец, на макроскопическом уровне рассматрива-

ются пространственно-временные структуры, образуемые ансамблями. Макроскопическому уровню соответствует введение зависимости переменных мезоскопического уровня от положения в пространстве и от времени. Макроструктуры можно характеризовать такими величинами как, например, длина волны, период, амплитуда. По Хакену, специфичным для синергетики является описание динамики макроуровней [14].

Эти определения уровней исследования не полностью совпадают с уровнями исследования в геоинформатике. Понятие микроуровня в геоинформатике такое же, как и в синергетике. Но геоинформатика не проводит исследования на микроуровнях. Мезоскопический уровень также совпадает с аналогичным понятием в синергетике. Геоинформатика проводит исследования на этом уровне. Понятие макроуровня в геоинформатике связано с понятием макромира и отличается от аналогичного понятия в синергетике. Макромир в геоинформатике – это звездные системы, галактики, вселенная. Эта область не исследуется методами геоинформатики.

Однако понятие макроуровня в синергетике соответствует мезоскопическому уровню геоинформатики и является объектом исследования геоинформатики.

Кроме того, нужно отметить, что объектом изучения синергетики является переход между отмеченными уровнями, в то время как геоинформатика исследует объекты и явления одного уровня. Поэтому следует констатировать, что исследования синергетики и геоинформатики дополняют друг друга в этом аспекте.

Пространственно-временной анализ целостности. В синергетике объект, являющийся элементом целостной системы, может обладать тремя группами свойств.

Первая группа включает целостные признаки, указывающие на принадлежность элемента данному целостному единству (объекту, классу объектов), сохраняющие свойства класса.

Вторая группа включает соотносительные признаки, определяющие взаимозависимость элементов целого. Необходимость наличия соотносительных признаков определяется тем, что без них целостность предстанет в виде многообразия отдельных, независимых друг от друга, самостоятельно существующих объектов, что неадекватно представлению о единстве.

Третью группу образуют признаки, которыми обладает теоретический объект вне связи с тем, что он является элементом целого, более крупного объекта.

В геоинформатике первую группу образуют атрибуты, или свойства объектов, классифицированные по известным классам объектов. Вторая группа описывает связи между объектами исследования или их элементами. Эти связи отражаются топологическими свойствами пространственных объектов, метаданными в базе данных.

Третью группу в геоинформатике составляют элементы, образующие самостоятельные классы. Так, точечные, линейные и ареальные слои образуют самостоятельные подмножества, в совокупности дополняющие друг друга.

Таким образом, в этом аспекте методология синергетики и геоинформатики тождественна.

Понятие процесса. В синергетике процесс задается в виде данной во времени последовательности состояний системы. Состояние системы является самостоятельным, независимым теоретическим объектом. В геоинформатике эти понятия идентичны. Мало того, такое понятие процесса в геоинформатике приводит к подразделению данных на три группы: время, место, тема. "Место" и "тема" описывают состояние, а группа "время" характеризует переход от одного состояния к другому.

Поскольку процесс предстает в виде последовательности во времени независимых объектов-состояний, то возникает вопрос: на каком основании эти независимые состояния рассматриваются вместе, как включенные в данный процесс?

Одним из главных факторов объединения состояний объектов во времени является их пространственное соотнесение. В геоинформатике это называется пространственной локализацией [2].

Кроме того, синергетическая способность объектов к пространственному соотнесению лежит в основе образования целостного единства из многообразия независимых объектов.

В геоинформатике соотнесение объектов служит основой построения универсального отношения, последующей его нормализации и организации базы данных.

Состояния, рассматриваемые как элементы процесса – целостного единства, обладают целостными признаками. Целостные признаки состояний, указывающие на принадлежность данному процессу, определяются заданием начального состояния процесса. В геоинформатике состояние описывается пространственной локализацией. Начальное состояние объектов в геоинформатике описывается интеграцией данных на основе пространственной локализации в начальный момент времени исследования.

Таким образом, концепции целостности в синергетике полностью описывают организацию данных в геоинформатике, их интеграцию, их пространственно-временной характер и являются подтверждением общности синергетики как метанауки и близости между геоинформатикой и синергетикой.

Это дает основание применять методы синергетики для анализа эффективности геоинформационных технологий и систем еще на уровне их проектирования и конструирования, что повысит надежность и качество геоинформационных исследований и геоинформационных решений.

Применение методов синергетики в геоинформатике представляется

плодотворным и перспективным, способствующим обогащению и развитию обеих наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. М., 1990.
2. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. М.: Златоуст, 2000.
3. Бурбаки Н. Архитектура математики. // Математическое просвещение. М.: Физматгиз, 1959. Вып. 5. С. 106-107.
4. Васильев В.А., Романовской Ю. М., Яхт В. Г. Автоволновые процессы в распределенных кинетических системах // УФН. 1979. 128. 4. С. 625-666.
5. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. 2000. №1. С.40-45.
6. Мандельштам Л. И. Лекции по колебаниям. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
7. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках /Пер. с англ. М., 1985.
8. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // Информационные технологии. 1999. №10. С.36-40
9. Словарь по кибернетике. Киев: Гл. ред. Укр. сов. энцикл., 1979.
10. Улам С. Нерешенные математические задачи. М.: Наука, 1964.
11. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
12. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998.
13. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: МГУГиК, 2000; Chaos and order in nature /Ed. by H.Haken. B. etc., 1980.
14. Mandelbrot B. B. *Fractals*. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1977.
15. Nonlinear partial differential equations. N. Y.: Acad. press, 1967.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.Д. Плутенко.