



Синергетические процессы в околоземном пространстве

Рассмотрены синергетические процессы в околоземном пространстве. Кратко рассмотрены особенности и структура околоземного пространства. Показано, что околоземное пространство попадает в сферу исследования геоинформатики. Геоинформатика раскрывается как интегратор наук о Земле. Дается анализ сходства-различия между геоинформатикой и синергетикой.

Ключевые слова: синергетика, информация, геоинформатика, пространственная информация, исследование окружающего мира, знание

N. A. Bakhareva

Synergetic processes in the near-earth space

Considered synergetic processes in near-Earth space. Briefly describes the features and structure of the near-Earth space. It is shown that the near-Earth space research falls within the scope of geoinformatics. Geoinformatics is revealed as an integrator of Earth Sciences. The analysis of similarities-differences between geoinformatics and synergy.

Keywords: synergy, information, geoinformatics, spatial information, the study of the world, knowledge

Введение

В настоящее время растет интерес к междисциплинарному направлению, получившему название "синергетика". Системы, составляющие предмет изучения синергетики, могут быть самыми различными и изучаться различными науками: социологией, лингвистикой, физикой, химией, биологией, математикой, нейрофизиологией, экономикой.

Каждая из этих 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 осуществлять междисциплинарный перенос знаний. Слово "синергетика" и означает "совместное действие", подчеркивая согласованность функционирования частей, отражающуюся в поведении системы как целого [1].

Синергетический стиль научного мышления включает в себя, с одной стороны, обобщенное и вероятностное видение мира. С другой стороны, синергетику можно рассматривать как современный этап развития кибернетики и системных исследований. Концепции и идеи те-

ории самоорганизации нашли свое выражение в таких взаимосвязанных областях как теория диссипативных структур [2], теория детерминированного хаоса, теория катастроф [3].

Синергетика ведет исследования систем не на стыках наук, а исследует их обобщенно. При рассмотрении синергетики пространственной информации следует остановиться и отметить появление геоинформатики, которое относят к 90-м годам прошлого столетия.

Околоземное пространство как объект исследования геоинформатики

С точки зрения геофизики, околоземное пространство (ОКП) – это несколько защитных оболочек Земли. С точки зрения развития человечества ОКП – это ближний космос, который интенсивно осваивается человеком. С точки зрения геосферы ОКП – это надстройка геосферы, которая становится ее частью. С точки зрения создания единой координатной земной среды ОКП – это расширение координатной земной системы, что особенно важно при координировании особо опасных космических объектов [4]. В аспекте глобальной геосистемы ОКП – это надстройка глобальной геосистемы, которая также становится ее частью.

В аспекте познания ОКП – это надстройка инфосферы [5], которая расширяет границы человеческого знания. В аспекте освоения космического пространства ОКП – это часть космического пространства, которая в большей степени

освоена человечеством в сравнении с другими частями [4]. В аспекте пространственных полей ОКП — это часть пространства, в которой расположены все земные поля (электрическое, гравитационное, магнитное). В аспекте геоинформационного пространства [6] ОКП — это часть космического пространства, которая граничит с геоинформационным пространством.

Определить границы этого пространства необходимо для задач мониторинга, координирования этого пространства с земным, для

навигации и других задач. Земная поверхность окружена воздушной оболочкой — атмосферой. ОКП граничит с земной атмосферой. В настоящее время нет четкого определения границ ОКП, поэтому авторы предлагают свой вариант, с включением прилегающих к ОКП пространств.

В табл. 1 приведены зоны различных пространств по отношению к Земле, в которых необходимо учитывать появление космических объектов.

Таблица 1

Пространственные зоны непосредственного влияния на Земную цивилизацию

№	Среда или пространство	Дальняя граница
1	Атмосфера	Примерно 100 км от поверхности Земли
2	ОКП	Примерно 51000 км от поверхности Земли или 9Re земных радиусов от центра Земли
3	Подлунное КП	Орбита Луны более 60Re
4	Залунное КП	Одна астрономическая единица примерно 21481Re

Атмосферу условно (международным соглашением) определяют высотой 100 км над поверхностью Земли, хотя есть исследования показывающие наличие атмосферы на высоте 214 км. Но 100 км трактуется как граница авиационных полетов. Выше начинаются космические полеты.

Если связывать ОКП с Землей, точнее с деятельностью земной цивилизации, то необходимо учитывать фактор присутствия человека в этом пространстве. Анализ этого фактора связывает эту границу с высотой геостационарных спутников примерно 36000 км. Электрическое поле также попадает в эту зону 36000 км. Высокие эллиптические орбиты простираются до 47000 км. Поэтому зону ОКП определим от 100 км над поверхностью Земли до расстояния 8Re (земных радиусов) над поверхностью Земли (примерно 51000 км) или 9 Re от центра. Таким образом, дальняя граница ОКП (по отношению к Земле) определяется сферой с центром в центре Земли с радиусом равным 9-ти земным от центра или 8-ми земным от поверхности.

В США космическое пространство принято делить на околоземное, долунное и залунное. Долунное космическое пространство (ДКП) простирается до орбиты Луны (384 400 км или примерно 60Re), залунное космическое пространство (ЗКП) определяется одной астрономической единицей (23481Re).

Есть другие оценки границы ОКП. В работе [7] границей ОКП обозначают пространство до орбиты Луны. Однако такое пространство неоднородно как по освоению его человеком, так и по содержанию различных полей Земли. Оценка, даваемая в таблице 1, дает более однородные пространства по содержанию.

В целом исследование ОКП направлено на получение новых знаний [8, 9] и раскрытие от-

ношений категорий «информация», «информационные ресурсы», «знания» [10].

Геоинформатика и синергетика

Геоинформатика возникла как обобщение и интеграция наук [11, 12] о Земле. Основным объектом изучения геоинформатики являются социально-экономические и природные явления, происходящие на земной поверхности. Основным методом исследования этих явлений в геоинформатике являются новые геоинформационные технологии и информатика.

Геоинформатику, в отличие от синергетики разделяют на три основные части фундаментальную, прикладную и специальную [11]. Геоинформатика является интеграцией ряда наук, поэтому, как и синергетика, ведет исследования систем не на стыках наук, а исследует их обобщенно, но при этом использует синтез и интеграцию научных методов этих наук при решении теоретических и практических задач. Синергетика дает в основном обобщенные решения, а геоинформатика дает обобщенные решения на фундаментальном уровне исследований и конкретные решения на прикладном [13]. Поэтому достаточно много параллелей можно найти между фундаментальной геоинформатикой и синергетикой.

Общей проблемой в обеих науках является проблема редукции большого числа измеряемых или наблюдаемых данных. Она решается либо сжатием информации, либо применением методов статистической обработки, направленных на обобщение, фильтрацию данных и получение обобщенных оценок. 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, синергетика рассматривает немногочисленные параметры порядка системы [14], 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, одним из распространенных среди которых является многофакторный анализ.

Фундаментальную геоинформатику как и синергетику можно рассматривать как метанауку, позволяющую 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 [15] рассматривают внешнюю среду как некую неравновесную систему. И та и другая исследуют условия равновесия или устойчивости объекта (системы) в этой среде. Это приводит к необходимости исследования структур среды и объектов в этой среде.

Синергетика и геоинформатика используют структурный подход, суть которого согласно Н. Бурбаки [16], 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.

Структура и хаос также изучается 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 [17].

Исследования синергетики направлены на изучение процессов самоорганизации. С этой

позиции понятие структуры 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 порядка образования. геоинформатика направлена на формирование информационных ресурсов [18, 19]. Таким образом, в данном аспекте синергетический подход дополняет исследования геоинформатики.

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 синергетике и геоинформатике применяют многоуровневость исследования. В синергетике Г.Хакен [1] предлагает классификацию уровней описания системы, содержащую три уровня: микроскопический, мезоскопический и макроскопический.

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., неприменимые на микроскопическом описании. Наконец, на макроскопическом уровне рассматриваются 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.

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 аналогичным понятием в си-

нергетике. 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, следует 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.

Постранственно-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 образуют 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 – тождественны.

Понятие процесса. В синергетике процесс задается в виде данной во времени последовательности состояний системы [20]. 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. Одним из методов локализации является геореференция [21].

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 [22]. 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 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.

Заключение

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. Таким образом, в этом аспекте понятия синергетики и геоинформатики тождественны. В целом можно говорить о совпадении или дополнении методов обеих наук. Это дает основание шире интегрировать методы синергетики

и геоинформатики, что повысит качество обобщения научных исследований и научных решений. Применение методов синергетики в геоинформатике представляется плодотворным и перспективным, способствующим обогащению и развитию обеих наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 117 с.
2. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках (пер. с англ.). М.: Наука, 1985. 126 с.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф. М., 1990.
4. David Waring Dunham, Vladimir Petrovich Kulagin, Victor Yakovlevich Tsvetkov. Near-earth space as a habitat // International Journal of Astrophysics and Space Science. 2013. №1(3). pp.12-15.
5. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Соловьев И.В., Цветков В.Я. Инфосфера и инфология. М: ГОРУС ПРЕСС, 2013. 176 с.
6. Лебедев В. В. Геоинформационное пространство России // Вестник Российской академии наук. 2005. Т.75. №3. С.195-204.
7. Новиков Л.С. Основы экологии околоземного космического пространства. Москва: Университетская книга, 2006. 84 с.
8. S. A. Kudz, I. V. Soloviev, V. Y. Tsvetkov Spatial Knowledge Ontologies // World Applied Sciences Journal. 2014. №31 (2). pp.216-221.
9. Цветков В.Я. Извлечение знаний для формирования информационных ресурсов. М.: Госинформобр. 2006. 158 с.
10. Соловьев И.В., Цветков В.Я. О содержании и взаимосвязях категорий «информация», «информационные ресурсы», «знания» // Дистанционное и виртуальное обучение. 2011. №6 (48). С.11-21.
11. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н. Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. М.: МаксПресс, 2005. 360 с.
12. Цветков В.Я. Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. №4. С.112-118.
13. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. М.: Просвещение, 2005. 264 с.
14. Занг В.Б. Синергетическая экономика. М.: Мир, 1999. 335 с.
15. Савиных В.П., Цветков В.Я. Синергетический аспект геоинформатики и технологий дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2002. №5. С.71-78.
16. Бурбаки Н. Архитектура математики. В кн.: Математическое просвещение. М.: Физматгиз, 1959, вып. 5, С. 106-107.
17. V. Ya. Tsvetkov. Spatial Information Models // European Researcher, 2013, V.60, №10-1, pp.2386-2392.
18. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. №3. С.85-91.
19. Булгаков С.В. Формирование информационных образовательных ресурсов в науках о Земле // Перспективы науки и образования. 2013. №6. С.56-59.
20. Синергетическая теория информационных процессов и систем / Иванников А.Д., Кулагин В.П., Миронов А.А., Мордвинов В.А., Сигов А.С., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. М.: МГДД(Ю)Т, МИРЭА, ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2010. 455 с.
21. Цветков В.Я. Геореференция как инструмент анализа и получения знаний // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2011. №2. С.63-65.
22. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. М.: Янус-К, 2002. 392 с.

REFERENCES

1. Khaken G. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow, Mir, 1980. 117 p.
2. Prigozhin I. *От сущестvиующего к возникающему. Время и сложность в физических науках (per. s angl)* [From existing to emerging. Time and complexity in physical Sciences (translated from English)]. Moscow, Nauka, 1985. 126 p.
3. Arnol'd V.I. *Teoriia katastrof* [Theory of catastrophes]. Moscow, 1990.
4. David Waring Dunham, Vladimir Petrovich Kulagin, Victor Yakovlevich Tsvetkov. Near-earth space as a habitat. *International Journal of Astrophysics and Space Science*, 2013, no.1(3), pp.12-15.
5. Ivannikov A.D., Tikhonov A.N., Solov'ev I.V., Tsvetkov V.Ia. *Infosfera i infologiya* [InfoSphere and infology]. Moscow, TORUS PRESS, 2013. 176 p.
6. Lebedev V.V. Geo-information space of Russia. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk - Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2005, V.75, no.3, pp.195-204 (in Russian).
7. Novikov L.S *Osnovy ekologii okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva* [Fundamentals of ecology of near-earth space]. Moscow, Universitetskaia kniga, 2006. 84 p.
8. S. A. Kudz, I. V. Soloviev, V. Y. Tsvetkov. Spatial Knowledge Ontologies. *World Applied Sciences Journal*, 2014, no.31(2), pp.216-221.
9. Tsvetkov V.Ia. *Izvlechenie znaniia dlia formirovaniia informatsionnykh resursov* [Extraction of knowledge for the formation of information resources]. Moscow, Gosinformobr, 2006. 158 p.
10. Solov'ev I.V., Tsvetkov V.Ia. About content and interrelationship of categories of "information", "information resources", "knowledge". *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie - Distance and virtual learning*, 2011, no.6(48), pp.11-21 (in Russian).
11. Ivannikov A.D., Kulagin V.P., Tikhonov A.N. Tsvetkov V.Ia. *Prikladnaia geoinformatika* [Applied Geoinformatics]. Moscow, MaksPress, 2005. 360 p.
12. Tsvetkov V.Ia. Information model and information resources. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziia i aerofotos'emka - News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography*, 2006, no.4, pp.112-118.
13. Monakhov S.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ia. *Metodologiya analiza i proektirovaniia slozhnykh informatsionnykh sistem* [Methodology for the analysis and design of complex information systems]. Moscow, Prosveshchenie, 2005. 264 p.
14. Zang V.B. *Sinergeticheskaia ekonomika* [Synergetic economy]. Moscow, Mir, 1999. 335 p.
15. Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ia. Synergistic aspect of Geoinformatics and remote sensing technology. *Issledovanie Zemli iz kosmosa - Study of Earth from space*, 2002, no.5, pp.71-78 (in Russian).
16. Burbaki N. *Arkhitektura matematiki. V kn.: Matematicheskoe prosveshchenie* [The architecture of mathematics. In the book: Mathematical education]. Moscow, Fizmatgiz, 1959, V.5, pp.106-107.
17. V. Ya. Tsvetkov. Spatial Information Models. *European Researcher*, 2013, V.60, no.10-1, pp.2386-2392.
18. Tsvetkov V.Ia. Information model and information resources. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziia i aerofotos'emka -*

News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography, 2005, no.3, pp.85-91 (in Russian).

19. Bulgakov S.V. Development of information and educational resources in the Earth Sciences. *Perspektivy nauki i obrazovaniia - Perspectives of science and education*, 2013, no.6, pp.56-59 (in Russian).
20. Ivannikov A.D., Kulagin V.P., Mironov A.A., Mordvinov V.A., Sigov A.S., Tikhonov A.N., Tsvetkov V.Ia. *Sinergeticheskaia teoriia informatsionnykh protsessov i sistem* [A synergetic theory of information processes and systems]. Moscow, Informika, 2010. 455 p.
21. Tsvetkov V.Ia. Georeference as a tool of analysis and knowledge. *Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal «Nauki o Zemle» - International scientific-technical and production journal "Earth Sciences"*, 2011, no.2, pp.63-65 (in Russian).
22. Poliakov A.A., Tsvetkov V.Ia. *Prikladnaia informatika* [Applied Informatics]. Moscow, Ianus-K, 2002. 392 p.

Информация об авторе

Бахарева Наталья Александровна
(Россия, Москва)

Старший преподаватель, заместитель декана
факультета экономики и управления территориями
Московский государственный университет геодезии
и картографии
E-mail: cvj2@mail.ru

Information about the author

Bakhareva Natal'ia Aleksandrovna
(Russia, Moscow)

Senior Lecturer, Deputy Dean of the Faculty of
Economics and Management Areas
Moscow State University
of Geodesy and Cartography
E-mail: cvj2@mail.ru