Сложность в геоинформационных технологиях

Complexity in geoinformation technologies

Цветков / Tsvetkov V.
Виктор Яковлевич
(cvj2@mail.ru)
доктор технических наук, профессор,
действительный член РАЕ, РАКЦ, РАО,
лауреат премии Президента РФ в области
образования, лауреат премии Правительства РФ,
почетный работник ВПО РФ.
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет геодезии и картографии» (МИИГАиК),
профессор кафедры информационно-измерительных
систем.
г. Москва

Булгаков / Bulgakov S.
Сергей Владимирович
(bul@bk.ru)
кандидат технических наук, доцент, почетный
работник науки и техники РФ.
МИИГАиК, доцент кафедры прикладной
информатики.
г. Москва

Буравцев / Buravtsev A.
Алексей Владимирович
(mister_j@mail.ru)
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический
университет» (РТУ МИРЭА), заместитель
директора института информационных технологий
и автоматизированного проектирования
(ИИТ и АП).
г. Москва

Рогов / Rogov I.
Игорь Евгеньевич
(rogov@mirea.ru)
РТУ МИРЭА, аспирант ИИТ и АП.
г. Москва

Ключевые слова: геоинформатика – geoinformatics; геоинформационное моделирование – geoinformation modeling; геоинформационная обработка информации – geoinformation processing of information; сложность – complexity; комплексная сложность – complex complexity; догма одномерности – dogma of one-dimensionality.

Статья исследует сложность в геоинформационных технологиях как особый вид сложности и как систему. Раскрывается содержание геоинформационной обработки информации как сложной модели и системы. Дана обобщенная модель геоинформационной обработки информации. Статья вводит модель комплексной сложности в геоинформационной обработке информации. Эта модель трактуется как сложная технологическая система и как «цепочка сложностей». Дана модель сложности действий специалиста при обработке пространственной информации, сложности в геоинформатике. Рассмотрены причины возникновения сложности и даны их парадигматические модели. Описана схема отношений в системе «сложность – качество». Показана неоднозначность повышения сложности в системах геоинформационной обработки и геоинформационного моделирования.

The article examines complexity in geographic information technologies as a special kind of complexity and as a system. The content of geoinformation processing of information as a complex model and system is revealed. A generalized model of geoinformation processing of information is given. The article introduces a model of complex complexity in geoinformation processing of information. This model is interpreted as a complex technological system and as a "chain of complexities". A model of the complexity of a specialist's actions when processing spatial information is given. difficulties in geoinformatics. The reasons for the complexity are considered and their paradigmatic models are given. The scheme of relations in the system "complexity - quality" is described. The ambiguity of increasing complexity in the systems of geoinformation processing and geoinformation modeling is shown.

Введение

Существует много моделей сложности: от моделей комбинаторики [1] до графовых четких и нечетких моделей сложности [2]. Геоинформационные технологии – достаточно широкое понятие, которое включает не только работу с ГИС, но и другие технологии, например спутниковые навигационные технологии, построение пространственных моделей на основе мобильного лазерного сканирования, технологии применения САПР, математическое пространственное моделирование, решение задач геодезических и фотограмме-

1 2021.indd 121 23.03.2021 14:16:32

трических построений, применение пространственной логики для построений, моделирование колец мусора в околоземном пространстве и другие виды работ. В процессах применения геоинформационных технологий возникает понятие «сложность». Сложность, как характеристика вычислительных процессов, хорошо исследована в области вычислений и в этой области существует термин «вычислительная сложность» [3]. Сложность, как характеристику системы, применяют в системном анализе, где она близка понятию структурная сложность. В психологии, когнитологии и в образовании существует понятие когнитивная сложность. В сравнительном анализе существует понятие сравнительная сложность [4]. В проектировании существует понятие сложность построений и сложность декомпозиции. В моделировании говорят о сложности моделирования. В топологии существует понятие «топологическая сложность». В картографии говорят о топологической сложности карт [5]. В области эксплуатации ПО существует понятие сложность эксплуатации. В области эксплуатации ПО существует закономерность – чем сложнее программа, тем больше неучтенных ошибок она имеет. Сложность влияет на качество обработки и связано с качеством в обратной пропорции. В системах эксплуатации программного обеспечения, в интегрированных информационных системах применяют понятие накопленное качество [6], которое снижает сложность эксплуатации. Такое разнообразие видов сложности делает актуальным исследование сложности в области геоинформатики и в области применения геоинформационных технологий.

Обобщенная схема геоинформационной обработки

Геоинформационная обработка включает этапы сбора описания, моделирования и компьютерной обработки. Схема обобщенной геоинформационной обработки приведена на рис. 1. По существу, геоинформационная обработка является технологической системой [7], имеющей отдельные части.

Основой исследования и обработки является объект реальности, под которым понимают пространственный объект, явление, пространственный процесс или пространственную закономерность. Пространственная закономерность часто выражается через пространственные отношения [8]. На объект исследования формируют первичное описание или инфологическую модель. Эта модель может представлять результат сбора данных, который осуществляют с применением разных технологий: геодезических, фотограмметрических, картографических, технологий ДДЗ, технологий мобильного лазерного сканирования, технологий применения спутниковых приемников и другие. Инфологическая модель является частично формализованной моделью, которая требует уточнения на последующих этапах исследований.

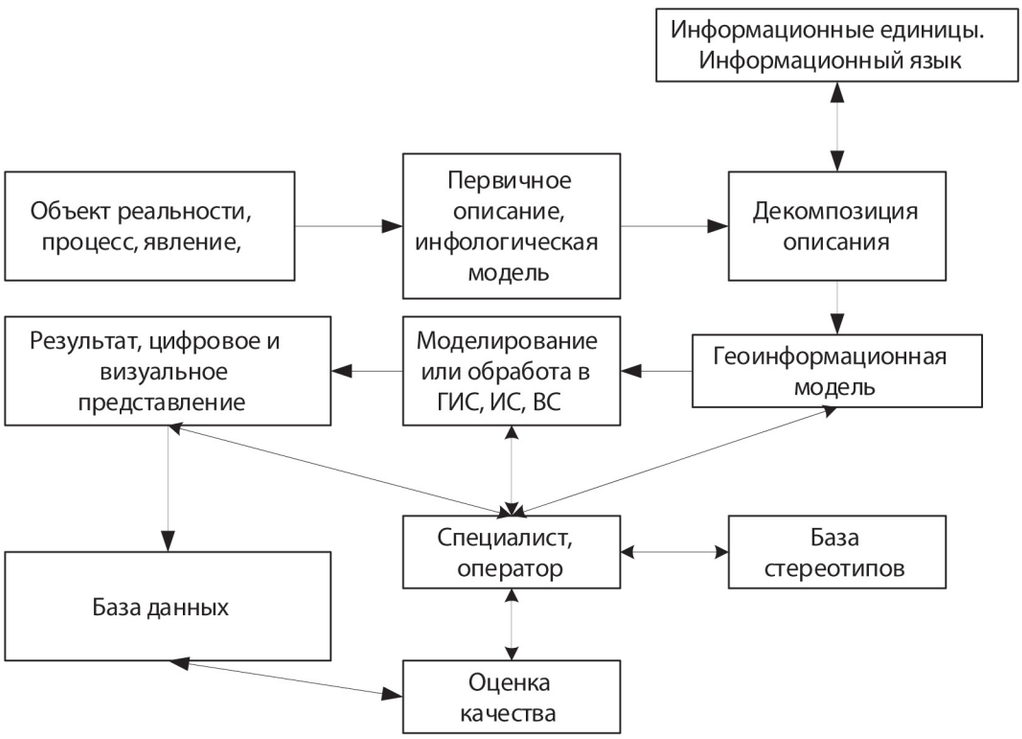

Рис. 1. Обобщенная схема геоинформационной обработки

1 2021.indd 122 23.03.2021 14:16:32

Первичное описание или инфологическая модель [9. 10] для преобразования в геоинформационную модель должны подвергнуться декомпозиции на части, которые удобно моделировать и обрабатывать. Для такой декомпозиции необходимы стандартизованные наборы информационных единиц (например, условные картографические знаки) или лингвистическое обеспечение. Геоинформационная модель использует геоданные [11, 12], которые классифицированы по трем категориям «место», «время», «тема». После формирования геоинформационной модели производят моделирования с использованием геоинформационных систем (ГИС), информационных систем (ИС, например САПР), вычислительных систем (ВС).

Особенностью результата обработки или моделирования является то, что он имеет цифровое и визуальное представление. Этапы формирования геоинформационной модели, обработки и формирования результата контролирует специалист (чаще) и оператор (реже). При формировании геоинформационной модели, обработки и формирования результата специалист использует базу стереотипов или паттернов для сокращения моделирования и представления. Окончанием результата геоинформационной обработки является контроль качества. При низком качестве результаты не принимают и проводят повторный цикл обработки.

Естественно, что обобщенная схема геоинформационной обработки характеризуется сложностью, модель которой связана с моделью обработки на рис.1.

Цепочка сложности в геоинформационных технологиях

Теория сложности и связанные с ней концепции возникли в середине–конце 20-го века во многих дисциплинах, включая работу Пригожина и его исследование диссипативных структур в неравновесной термодинамике, Лоренца в его исследовании погодных систем и нелинейных причинных путей (т. н. эффект бабочки), теория хаоса и ее новый раздел математики, а также эволюционное мышление, основанное на взглядах Ламарка на обучение и адаптацию [13].

Основным видом моделирования в геоинформационных технологиях является геоинформационное моделирование. Геоинформационное моделирование не является однородным. В нем выделяют разные виды моделирования, связанные с решением разных задач: электронная картографирование, трехмерное моделирование стационарных объектов, моделирование в кадастре, проектные решения в строительстве, мониторинг деформаций и осадок сооружений, мониторинг транспорта, интеграция данных дистанционного зондирования. Геоинформационные технологии не только решают прикладные задачи, но и получают новые знания. Это обуславливает наличие сложности в геоинформационных технологиях и ее разнообразие. Сложность в геоинформационных технологиях и геоинформационной обработке нельзя сводить к одному понятию или параметру. Сложность в геоинформационных технологиях и геоинформационной обработке представляет собой совокупность разных видов сложностей, связанных в единую систему. На рис. 2 приведена цепочка сложностей, которые имеются в геоинформационной обработке.

Таким образом, технологическим звеньям на рис. 1 соответствуют виды сложности на рис. 2. Эти виды сложности можно рассматривать как систему и как сетевую модель или цепочку. Цепочка сложностей на рис. 2 соответствует обобщенной схеме геоинформационной обработки на рис. 1. Если рассматривать схему на рис. 2 как систему, то ее можно интерпретировать как трехуровневую систему: уровень ввода: уровень моделирования, уровень накопления опыта.

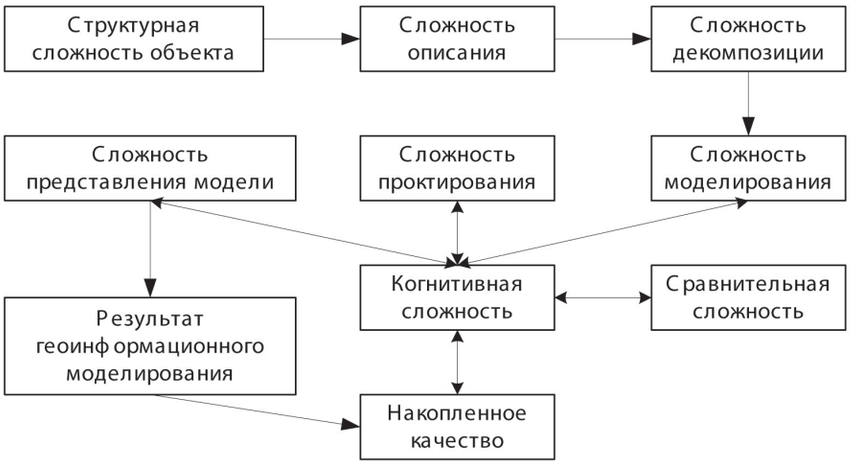

Рис. 2. Цепочка сложностей, входящих в сложность геоинформационной обработке

1 2021.indd 123 23.03.2021 14:16:32

На уровне ввода представлены три связанные сложности: структурная сложность пространственного объекта (или связанной системы объектов); сложность описания пространственного объекта (дескриптивная модель объекта); сложность декомпозиции модели описания пространственного объекта на информационные единицы, которые служат основой для построения геоинформационной или пространственной модели. Декомпозиция возможна, если существует информационный язык, синтаксис построения моделей, правила использования моделей, правила их хранения в БД и правила визуального представления пространственных моделей. Условием декомпозиции является обеспечение информационного соответствия между пространственной моделью и пространственным объектом.

Особенностью уровня моделирования, включая цифровое пространственное моделирование [14], является зависимость качества работы и результата от человека-оператора. В силу этого три вида сложности: сложность моделирования, сложность проектирования, сложность представления – связаны с когнитивной сложностью оператора, а не напрямую. Когнитивная сложность зависит от опыта оператора, его профессиональных качеств и умения использовать методы пространственной логики. Когнитивная сложность связана со сравнительным анализом и сравнительной сложностью, когнитивная сложность связана с накоплением опыта работы или накопленной надежностью.

Уровень накопления опыта включает: когнитивную сложность; сравнительную сложность; результат геоинформационного моделирования, накопленное качество. Геоинформационное моделирование решает задачи получения пространственных знаний [15]. Поэтому результат геоинформационного моделирования может представлять технологический и научный интерес как средство развития технологий и научного направления геоинформатика.

В то же время геоинформационные технологии могут включать не только геоинформационное моделирование. Таким вспомогательным моделированием является логическое моделирование, и в первую очередь логическое пространственное моделирование. Таким вспомогательным моделированием является системное моделирование, структурное моделирование и моделирование надежности. Таким вспомогательным моделированием является метамоделирование [16, 17], которое служит основой обобщения опыта и построения метатеорий [18]. Таким вспомогательным моделированием является информационное конструирование, которое служит основой построения концептуальных моделей и концептуального моделирования. Все это входит в уровень накопления опыта в геоинформационных технологиях.

Сложность в геоинформационных технологиях имеет сходство с колмогоровской сложностью, комбинаторной сложностью и сложностью адаптивных систем (complexity adaptive systems – CAS) [19]. Несмотря на то, что существует большое количество CAS на разных уровнях, теория сложности показывает, что существуют общие взаимосвязанные принципы, которые можно наблюдать во всех CAS [20].

Факторы повышения и снижения сложности при действиях специалиста в геоинформационных технологиях

Термин «сложный» подразумевает разнообразие через большое количество и большое разнообразие взаимозависимых, но автономных частей. «Адаптивный» относится к способности системы изменять, изменять и извлекать уроки из прошлого опыта. Сильные стороны геоинформационных технологий сильно зависят от отношений между отдельными агентами частей системы (рис. 2) и их способностей к самоорганизации. По этой причине качество и анализ отношений между отдельными агентами часто определяют качество результата геоинформационных технологий, больше чем анализ характеристик отдельных агентов. Тем не менее работа агента является весьма важной и требует исследования.

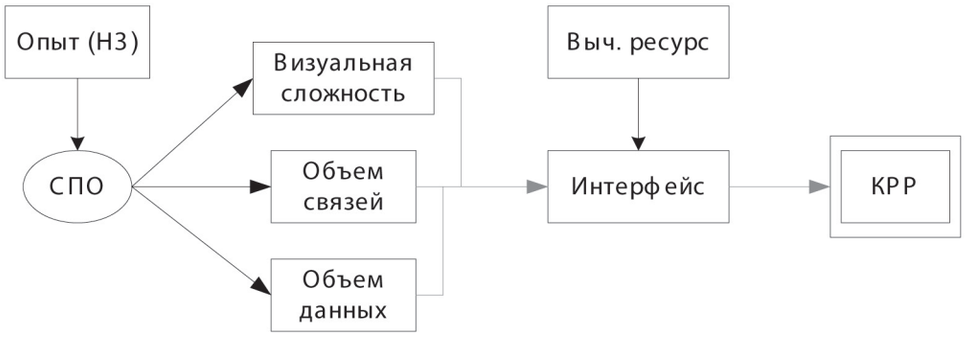

Рис. 3. Факторы, влияющие на сложность в геоинформационных технологиях

1 2021.indd 124 23.03.2021 14:16:32

Часто в работах, связанных с человеко-машинными системами, вводят понятие оператора, как специально обученного человека для работы с такими системами. Этот оператор слепо выполняет задание, не всегда четко понимая смысл задания. В геоинформационной обработке и геоинформационных системах такое понятие следует заменить на понятие «специалист». Это обусловлено тем, что функции оператора при работе с информационными и техническими системами выполняет специалист предметной области. Следует отметить, что число таких специалистов, работающих с геоинформационными технологиями, разнообразно: врачи, геодезисты, геоинформатики, картографы, специалисты в области кадастра, специалисты в транспортной сфере, проектировщики, изыскатели и другие. На рис. 3 приведена схема работы специалиста в геоинформационных технологиях, раскрывающие факторы появления и снижения сложности.

На рис. 3 символы СПО обозначают «специалист прикладной области», который работает с использованием геоинформационных технологий. Этот специалист обладает опытом работы, который чаще всего выражается наличием неявного знания. Носителем неявного знания является СПО. Символом КРР на рис. 3 обозначено «качество результата работы». Можно выделить факторы прямой пропорции влияющие на качество работы. Отношения прямой пропорция

Опыт СПО → качество результата работы

Интерфейс ГИС → качество результата работы

Производительность вычислительной системы → качество результата работы

Качество задания на обработку → качество результата работы.

Опыт СПО влияет на качество результата работы с использованием геоинформационных технологий. Чем больше опыт, тем выше качество. Чем ниже опыт СПО, тем ниже качество.

Интерфейс ГИС или иной информационной системы влияет на качество результата работы. Чем более удобный интерфейс (рис. 3) с множеством функций, тем ниже сложность работы и тем выше качество. Наоборот, неудобный интерфейс повышает сложность работы и снижает качество результата.

Высокая производительность вычислительной системы уменьшает время работы, упрощает моделирование и в итоге повышает качество результата работы. Низкая производительность вычислительной системы увеличивает время работы, усложняет моделирование, повышает сложность работы в геоинформационных технологиях и в итоге снижает качество результата работы

Качество задания на обработку при корректной и четкой постановке уменьшает сложность и повышает качество результата работы. Низкокачественное задание на обработку повышает сложность, создает дополнительные работы, создает потерю времени, приводит к повышению усталости СПО и снижает качество результата работы.

Существуют факторы, которые повышают сложность работы и снижают качество результата работы. Формально эти факторы связаны с качеством следующими парадигмами.

Рост объема данных → снижение качества результата работы

Рост когнитивной сложности обработки → снижение качества результата работы

Рост времени обработки данных → снижение качества результата работы

Рост объема данных (рис. 3) – объективный фактор последнего времени. Он влечет повышение сложности и снижение качества работы.

Рост когнитивной сложности обработки связан с визуальной сложностью и ростом числа связей в модели или задаче (рис. 3).

Можно сделать общий вывод, что сложность снижает качество результата работы в геоинформационных технологиях. Это можно выразить импликативными моделями

Снижение сложности →повышение качества

Рост сложности →снижение качества.

Для импликативных моделей характерна ситуация следования и процесс следования. Для этих моделей характерна ситуация трансформации объектов и моделей, характерен процесс трансформации. Для импликативных метамоделей характерен процесс абстрагирования.

На основе базисных принципов строятся различные методы оценки сложности. В основе оценке сложности заложено исследование отношений между моделями, объектом оригиналом и результатом моделирования. Оценка сложности зависит от информационной ситуации. В разных информационных ситуациях сложности имеют разные виды и по-разному оцениваются. Рассмотрим пример дигитализации карт. Карта в отличие от фотоснимка не слепо копирует реальность, а создается человеком и является картографическим творческим произведением. В картографии есть понятие «показ с преувеличением» и сдвиг. Задача картографа показать «отличимость» и «различимость». Показ с преувеличением выполняют особенно на мелкомасштабных картах (например, озера), для того чтобы отличить объект картографирования от точки. Различимость или сдвиг заключается в пространственном разнесении объектов на карте, чтобы они не сливались в один объект. Это дома в городских условиях при плотной застройке и набережная и берег реки. Поэтому при цифровании карт нельзя слепо переносить объекты карты в цифровую карту. Такое преобразование должно происходить при участии специалиста картографа. Об это десятки лет говорит заведующий лаборатории института географии РАН Н. Н. Казанцев. Это пример когнитивной сложности, которая проявляется при работе с отдельными видами простран-

1 2021.indd 125 23.03.2021 14:16:32

ственных моделей. Надо помнить о том, что карта в первую очередь выражает качественные признаки и во вторую очередь количественные. Карта в первую очередь отражает топологические отношения и во вторую очередь геометрические отношения. Поэтому измерения по карте надо проводить с учетом этих факторов. Это также задает когнитивную сложность.

В геоинформационных технологиях, как правило, нет центрального режима управления. Управление и обработка информации осуществляется в системе (рис. 1) через отдельных агентов (специалистов, операторов). Это позволяет системе геоинформационных технологий реагировать и адаптироваться быстрее и в большей степени, чем если бы был только один источник контроля [20] .

Заключение

Существует понятие «догма одномерности», которое заключается в попытке определить сложное явление, процесс или объект с помощью одного определения и одного термина. Сложность в геоинформационных технологиях нельзя описать с использованием догмы одномерности. Сложность в геоинформационных технологиях является многоаспектным явлением и проявляется в зависимости от ситуации и задачи, поставленной перед специалистом. Сложность в геоинформационных технологиях можно рассматривать как особый вид сложности или как комплексную сложность. Сложность в геоинформационных технологиях с системных позиций можно рассматривать как систему сложностей или цепочку связанных сложностей. Термин «сложный» подразумевает разнообразие через большое количество и большое разнообразие взаимозависимых, но автономных сложных частей. Термин «сложный» подразумевает не только трудности, но возможности к адаптации именно в сложных условиях работы. Несмотря на то, что понятие «сложности» применяют в геоинформатике достаточно давно, пока нет единого мнения о его содержании и формах. Данная статья является одной из работ в этом направлении и рассчитана на привлечении внимания к этой тематике и развития научной дискуссии в этом направлении с целью выработки стандартизованного определения или устойчивого мнения по данному вопросу. Теория сложности в геоинформатике находится в стадии развития и требует дальнейших исследований.

Литература

1. Lachowski, Ł. On the complexity of the standard translation of lambda calculus into combinatory logic / Ł. Lachowski // Reports on Mathematical Logic. – 2018. – No. 53. – P. 19–42.

2. A multivariate multiscale fuzzy entropy algorithm with application to uterine EMG complexity analysis / M.U. Ahmed [et al.] // Entropy. – 2017. – Vol. 19, No. 1. – P. 2–18.

3. Математика. Большой энциклопедический словарь / под ред. Ю.В. Прохорова, 3-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 848 с.

4. Lee, J. H. Design Thinking: Creativity, Collaboration and Culture / J.H. Lee, M.J. Ostwald, N. Gu. – London: Springer, Cham, 2020. – 245 p.

5. Scott, J. On the Topological Complexity of Maps [Электронный документ] / J. Scott // arXiv. – 2020. Режим доступа: preprint arXiv:2011.10646 [дата обращения: 12.02.2021], свободный. – Загл. с экрана.

6. Titov, E. K. Accumulated reliability of information hardware and software systems / E.K. Titov, V. Ya. Tsvetkov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 919. – P. 022055.

7. Буравцев, А. В. Сложные технологические системы / А.В. Буравцев // Славянский форум. – 2017. – № 4 (18). – С. 14–19.

8. Майоров, А. А. Георефеpенция как применение пространственных отношений в геоинформатике / А.А. Майоров, В.Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 87–89.

9. Андреева, О. А. Инфологическое моделирование при мобильном лазерном сканировании / О.А. Андреева // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 4 (16). – С. 51–62.

10. Раев, В. К. Инфологические модели как инструмент исследования / В.К. Раев // Славянский форум. – 2020. – № 3 (29). – С. 56–66.

11. Savinykh, V. P. Geodata As a Systemic Information Resource / V.P. Savinykh, V.Ya. Tsvetkov // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 84, No. 5. – P. 365–368.

12. Markelov, V. M. Application Geodata in Logistics / V.M. Markelov // European Researcher. – 2012. – Vol. 33, No. 11–1. – P. 1835–1837.

13. Schneider, M. Organizations as complex adaptive systems: Implications of Complexity Theory for leadership research / M. Schneider, M. Somers // The Leadership Quarterly. –2006. – Vol. 17, Iss. 4. – P. 351–365.

14. Андреева, О. А. Цифровое моделирование при проектировании трассы железных дорог / О.А. Андреева, С.В. Булгаков // Информация и Космос. – 2019. – № 3. – С.136–144.

15. Savinych, V. P. On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial / V.P. Savinych // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. – 2016. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 23–32.

16. Metamodelling in the information field / V.Ya. Tsvetkov [et al.] // Amazonia Investiga. – 2020. – Vol. 9 (25). – P. 395–402.

17. Метамоделирование в геоинформатике / В.Я. Цветков [и др.] // Информация и Космос. – 2020. – № 1. – С .112–119.

18. Гильберт, Д. Основания математики: Логические исчисления и формализация арифметики / Д. Гильберт, П. Бернайс. – М.: Наука, ФМЛ, 1979. – 560 с.

19. Revisiting the impact of information systems architecture complexity: a complex adaptive systems perspective / R. Schilling [et al.] // Thirty Eighth International Conference on Information Systems at: Seoul, South Korea. – 2017. – 18 p.

20. Zimmerman, B. A Complexity Science Primer / B. Zimmerman, C. Lindberg, P. Plsek // Edgeware: Insights from Complexity Science for Health Care Leaders. – Irving, Texas: VHA Inc., 2008. – P. 3–20.

1 2021.indd 126 23.03.2021 14:16:33