

УДК 004.032

ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ «СЛОЖНАЯ СИСТЕМА»**Ознамец Владимир Владимирович¹,**канд. техн. наук,
e-mail: voznam@bk.ru,¹Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), Москва, Россия

Статья исследует эволюцию понятия «сложная система» в аспекте развития теории систем. Статья показывает, что, как и кибернетика, современная теория систем претерпела существенное развитие, что требует нового подхода к рассмотрению понятия сложной системы. Статья показывает, что первоначальное понятие сложной системы ставило задачу ее формального описания, современное понятие сложной системы решает ряд дополнительных задач. На основе сигнатуры концептуального представления систем показано последовательное изменение свойств и расширение функциональности по мере применения элементов когнитивности. Показано, что в настоящее время понятие сложной системы от абстрактной формы или технической формы приобретает комплексный аспект с учетом многих факторов, в том числе и когнитивный фактор. Отмечается, что упрощенное описание сложной системы может иметь ограниченное применение, необходимо описание специальных признаков, раскрывающих когнитивные, организационные, ресурсные и другие факторы, которые влияют на результат деятельности системы и позволяют находить причинно-следственные связи между составом системы и результатом.

Ключевые слова: сложная система, системные признаки, когнитивный фактор, информационная единица

“COMPLEX SYSTEM” CONCEPT EVOLUTION**Oznamets V.V.¹,**PhD in Technology,
e-mail: voznam@bk.ru,¹Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

The article explores “complex system” concept evolution in the aspect of systems theory development. The article shows that like cybernetics the modern systems theory has developed significantly. It requires a new approach to considering complex system concept. The article shows that while the original complex system concept posed the task of its formal description the modern one does a number of additional tasks. Basing on the signature of systems conceptual representation the article shows a consistent change in properties and expansion of functionality as the elements of cognition are applied. It is shown that at present the complex system concept from an abstract or technical form gets a complex aspect taking into account many factors including the cognitive one. It is noted that a simplified description of a complex system may have limited use so it is necessary to describe special features that reveal cognitive, organizational, resource and other factors that affect the result of the system's activity and allow one to find causal relations between the system composition and the result.

Keywords: system, complex system, system analysis, system signs, special signs, general signs

DOI 10.21777/2500-2112-2021-3-80-87

Введение

Термин «сложная система», как и термин «кибернетика», претерпел изменения в силу многообразия и развития этих понятий. Определение кибернетики, введенное Н. Винером, не охватило всех ситуаций ее использования. В настоящее время применяют понятия социальная кибернетика [1] и кибернетика первого, второго [2], третьего и четвертого порядка [3]. То же самое относится к понятию система. Появились новые виды систем, которые нельзя описать общим простым определением [4].

Особо следует рассмотреть сложные системы, которые существенно расширились в многообразии и качественном понимании [5]. Понятие сложности связано с человеческим фактором [6]. То, что было сложным ранее становится простым в настоящее время. Пока не разработаны чёткие критерии сложности (систем) и существует множество подходов к оценке этой характеристики. Сложность оценивают по оппозиционной шкале «простота – сложность». Большей частью сложность есть сравнительная характеристика. В силу этого термин сложность чаще употребляют как атрибут – сложность системы [7] или процесса и реже как феномен. Сложность связывают с некой характеристикой. Например, можно выделить атрибутивные виды сложности: сложность системы, сложность вычислений, сложность процесса, сложность графа, сложность управления, сложность коммуникации, сложность открытой системы, сложность случайных процессов. Описать перечисленные виды сложности одним определением затруднительно. Аналогичная ситуация имеет место со сложными системами [5], число которых в настоящее время велико и качественные различия весьма существенны. Многие сложные системы являются саморазвивающимися. Современное понятие сложной системы охватывает социальные и живые системы, а также гибридные: мультиагентные и генетические, которые занимают промежуточное место между живыми и техническими системами. Поэтому анализ сложности и сложных систем является актуальным.

Сравнение трактовок понятий «сложная система»

В науке есть понятие «догма одномерности» [8; 9]. Это ситуация когда одним определением или дефиницией пытаются описать сложное полисемическое явление или объект. Этот термин означает узость подхода, который всегда приводит либо к ошибкам, либо к сужению области применения термина. В качестве примера рассмотрим широко используемое определение, обозначим его как «O1», которое утверждает, что система есть «множество элементов, находящихся в отношениях, в связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство» [10].

Определение O1 в качестве ключевого показателя использует понятие «множество». Это означает, что согласно данному определению система есть, в первую очередь, множество. Множества бывают разные, поэтому в определении O1 содержится неопределенность, обусловленная отсутствием точности в указании вида множества. Например, четкое или нечеткое множество. Определение O1 не является единственным и является неполным в силу того, что в нем не обозначены такие важные факторы как структура, нет системного критерия эмерджентность, нет упоминания о делимости системы на элементы. В зависимости от критерия делимости получаются разные элементы и разные структуры. Открытые и закрытые системы не учтены определением O1. Существуют разные виды систем, которые покрыть приведенным определением не представляется возможным, поскольку между системами существуют принципиальные различия.

Описание сложной системы (SYS) согласно определению O1 основано на перечислении параметров, которые входят в ее дефиницию. Такое описание систем называют перечислительным. Отсюда описание O1 включает связи, элементы и отношения и может быть представлено в виде

$$SYSI = \langle E, C, R, IN \rangle. \quad (1)$$

Выражение (1) полностью соответствует определению O1. В выражении (1) приняты следующие обозначения: *SYSI* – описание системы в соответствии с определением O1; *E* – множество элементов в системе; *C* – множество связей в системе; *R* – множество отношений между элементами; *IN* – свойство целостности. Если система целостная, то она обладает единством. Это определение указывает, что система состоит из элементов, связей и отношений и обладает целостностью и единством. В описании (1) сложная система представляет собой некую абстракцию и не связана с внешней средой, то есть является закрытой. Закрытые системы можно рассматривать как закрытую модель, применяемую для локальных целей исследования.

В большинстве работ [11; 12; 13; 14; 15; 16] сложная система трактуется как совокупность подсистем, частей и элементов, связей и отношений между ними и взаимодействий между элементами [17]. Рассмотрим ряд описаний в альтернативу определению O1 и соответствующему ему выражению (1).

Самое простое описание включает структуру системы, части системы, связи, элементы и отношения и может быть представлено в виде

$$SYS = \langle Pr, Str, E, C, R, IN \rangle. \quad (2)$$

В выражении (2) приняты следующие обозначения: Pr – совокупность частей системы; Str – структура системы; E – множество элементов в системе; C – множество связей в системе; R – множество отношений между элементами, частями и подсистемами; IN – свойство целостности. Это определение указывает, что система состоит из разнородных частей и имеет структуру. Описание (2) более полное по сравнению с описанием (1).

При переходе от абстрактной сложной системы (SYS) к прикладной системе (AS) [18], необходимо включить наличие цели, отражающей решение практических задач. В этом описании добавим к уже рассмотренному кортежу (2) множество целей G и структурируем систему на подсистемы. В этом случае прикладная система с наличием цели имеет описание вида

$$AS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, IN \rangle. \quad (3)$$

В выражении (3) Ps – совокупность подсистем; G – множество целей, остальные параметры такие же, как и в (2). Выражение (3) характеризует системы с одной или множеством целей. Это описание более полное по сравнению с описанием (1). Описания (1–3) являются описаниями закрытой системы. Для того, чтобы сделать систему открытой, необходимо включить в описание входы и выходы. В этом случае получаем описание открытой целеопределенной системы в виде

$$AS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, IN, int, out \rangle. \quad (4)$$

В выражении (4) int – множество входов, out – множество выходов системы. Наличие входов и выходов системы связывает систему с внешней средой и позволяет моделировать информационное и физическое взаимодействие системы со средой. Это описание более полное по сравнению с описанием (1). Поскольку IN является обязательным свойством, в дальнейшем его можно не включать, но подразумевать его наличие.

В ряде задач (управление) играет роль время выполнения операций системой. Функционирование прикладной системы происходит в пределах некоторого допустимого интервала времени (ΔT). В этом случае рассматриваются процессы, происходящие в системе и в среде, учитывается динамика функционирования системы. Для абстрактной сложной системы это понятие не используют. Оно является для прикладной системы (AS). В этом случае описание (4) должно быть дополнено параметром ΔT – время оперативной реакции прикладной системы:

$$SYS(t) = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T \rangle. \quad (5)$$

Описание (5) более полное по сравнению с описанием (1). Следующим этапом расширения описания является учет человеческого фактора. Включение когнитивного фактора Cog в систему формирует человеко-машинную систему (HMS) [19], которая может быть описана следующим выражением

$$HMS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T, Cog \rangle. \quad (6)$$

Выражение (6) описывает эволюционную модель сложной системы и показывает, что HMS является эволюцией сложной системы. В качестве HMS часто рассматривают сложные объекты, такие как фирма, орган государственной власти, государственный фонд и др. Описание (6) более полное по сравнению с описанием (1).

Следующим этапом расширения описания является учет возможного изменения параметров системы с течением времени. В этом случае говорят о динамических системах. Для динамической системы $DS(t)$ характерно изменение некоторых параметров со временем и включение времени как аргумента

$$DS(t) = \langle Ps, Pr(t), Str(t), E, C(t), R(t), G(t), int, out, \Delta T \rangle. \quad (7)$$

Выражение (7) описывает системы с переменной структурой. Выражение (7) включает качественно иные параметры по сравнению с описанием (1). Исходя из того, что система обладает каче-

ством эмерджентности, ее нельзя исследовать только на основе анализа ее частей или элементов. Исследование системы только методом декомпозиции, т.е. методом разложения целого на части, является недостаточным, так как оно сводится к исследованию лишь ее отдельных частей. Эмерджентная система (ES) может быть описана с помощью выражения

$$ES(t) = \langle Ps, Pr(t), Str(t), E, C(t), R(t), G(t), int, out, \Delta T, EM \rangle, \quad (8)$$

где EM – эмерджентная информация или характеристика. Она появляется при наличии нелинейной комбинации компонент системы и характеризует эмерджентность системы как дополнительное свойство. При разложении системы на части системная информация и эмерджентность исчезает.

Выражения (1)–(8) являются линейными описаниями и допускают последующие модификации. Например, иногда цели разбивают на внешние ($G(t)out$) и внутренние ($G(t)int$) или на цели функционирования и развития. В описания систем можно включать ресурсы системы, которые определяют ее жизненный цикл:

$$SYS(t) = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T G(t), Res \rangle. \quad (9)$$

В выражении (9) Res – ресурсы системы. При описании системы во внешней среде приходят к понятию информационной ситуации [20] как микроокружения системы, которое существенно влияет на ее состояние.

Все рассмотренные описания сложных систем (1)–(9) относятся к линейным описаниям. Принцип построения выражений (1)–(9) – линейный. При появлении нового свойства системы, это свойство обозначают идентификатором и включают в совокупность (1)–(9), описывающую сложную систему. Принципиальным в анализе описаний сложных систем является выявление эмерджентности как явного фактора в выражении (8). Совокупность всех параметров системы в фиксированные моменты времени t_i называют состоянием системы Z_i . Описание (1) включает всего четыре характеристики, в то время как описания сложных систем включает от 10 и более характеристик.

Многообразие сложных систем

Существуют разные виды сложных систем: организационные [21], технологические [22], технические, организационно-технические [23], живые [24], эмерджентные и аддитивные системы, интеллектуальные [25], прикладные [18], киберфизические, алгоритмические, программные, сложные системы данных [26], геотехнические системы, когнитивные системы. Определение О1 является неполным и нецелостным, следовательно, не системным. Такое определение системы не может быть каноническим и может иметь ограниченное применение.

Существует ряд систем, которые не попадают по определению О1. Это стохастические системы, динамические системы, системы когнитивных кластеров, распределенные системы, синергетические системы, самоорганизующиеся системы, аутопоэтические системы, системы правил.

Отражает ли определение О1 специфику таких систем как прикладные системы [18], геотехнические системы [27], интеллектуальные транспортные системы [28], системы наук [29], системы знаний [30]? Нет, не отражает.

По логике и лингвистике каждый специфический объект (SO) должен иметь свое определение или дефиницию (SD)

$$SO \rightarrow SD (Cf, Sf). \quad (10)$$

Выражение (10) описывает информационное соответствие между объектом и его определением. По-существу дефиниция есть описательная модель. Дефиниция любого объекта включает общие признаки класса объекта (common features – Cf) и специальные или индивидуальные признаки объекта (special features – Sf), выделяющие его в классе объектов.

Определение О1 и описание (1) не включает специальные признаки и не включает ряд важных общих признаков, такие как структура и эмерджентность системы и жизненный цикл системы. В ка-

честве примера рассмотрим систему геодезического обеспечения (GSS). В соответствии с Концепцией развития отрасли геодезии и картографии применяют понятие «Система геодезического обеспечения государства» [31]. В этом подходе «система» геодезического обеспечения Российской Федерации интерпретируется как «генеральная совокупность» ряда важных параметров

$$GSS \rightarrow DGSS (Cf, Sf). \quad (11)$$

На основе выражения (11) получим для описания *GSS* модель сложной системы в виде

$$GSS(t) = \langle G, Str(g), E, ND(t), C, R, Dp, Ds, Md, Res, ISitu, Cog, OD \rangle. \quad (12)$$

В выражении (12) приняты следующие обозначения: *G* – цель применения геодезического обеспечения; *Str(g)* – структура геодезического обеспечения, которая меняется в зависимости от цели; *E* – множество технологических и технических элементов в системе; *ND(t)* – нормативные документы, которые имеют жизненный цикл и зависят от времени; *C* – технологические и технические связи в системе; *Rp* – множество отношений между частями системы; *Dp* – первичные данные, получаемые в ходе измерений; *Ds* – вторичные данные, получаемые при обработке; *Md* – модели, применяемые при описании объекта исследования или при обработке информации; *Res* – ресурсы системы; *ISitu* – условия проведения работ, информационная ситуация проведения работ; *Cog* – когнитивный фактор; *OD* – выходные данные или результат геодезического обеспечения.

В выражении (12) параметр времени входит в неявной форме через нормативные документы. Входы-выходы подразумеваются, но не показаны. Системное описание (12) показывает, что геодезическое обеспечение является сложной прикладной системой и обладает системными признаками. Вариативность структуры *Str(g)* позволяет адаптировать *GSS(t)* к целям *G* и условиям работ *ISitu*. Вариативность структуры *Str(g)* реализуется организационными принципами и говорит о том, что *GSS(t)* может быть рассмотрена как организационная система и результат геодезического обеспечения зависит от организации работ. Когнитивный фактор *Cog* показывает, что результаты работ на практике зависят от квалификации специалиста. Нормативы могут быть одинаковые, а результаты работы будут разные в зависимости от квалификации специалиста. *ND(t)* – нормативные документы имеют временные ограничения и это влияет на организацию геодезического обеспечения как системы. Применяемые модели влияют на результат, в частности, точность обработки влияет на применимость результата обработки. Условия работ или информационная ситуация влияют на организацию работ и на структуру системы.

Заключение

В настоящее время понятие сложной системы от абстрактной или технической формы приобретает комплексный аспект с учетом когнитивных и ресурсных факторов. Понятие сложной системы приобретает социальный аспект и аспект саморазвития. Понятие сложной системы включает не только технические, но и живые системы. Безликие элементы системы в абстрактной сложной системе заменяются на различные группы информационных единиц. Различные группы информационных единиц повышают функциональность систем и их дифференциацию. Аспект саморазвития привел к тому, что многие (но не все) технические, технологические и сложные организационно-технические системы попадают в класс саморазвивающихся систем [32; 33]. Первоначальное понятие сложной системы ставило задачу ее формального описания. Современное понятие сложной системы ставит несколько задач. В первую очередь, это результат функционирования или деятельности системы. Следующими задачами являются: связь сложной системы с окружающей средой и описание причинно-следственных механизмов, влияющих на результат, качественное описание элементов системы и определение критериев образования этих элементов в виде информационных единиц. Современное понятие сложной системы включает фактор жизненного цикла и человеческий фактор. На примере сложной системы геодезического обеспечения видно, что современные сложные системы включают когнитивные, организационные и другие факторы, которые влияют на результат деятельности системы, позволяют находить причинно-следственные связи между составом системы и результатом.

Список литературы

1. Кудж С.А., Цветков В.Я. Развитие социальной кибернетики // Славянский форум. – 2020. – № 3(29). – С. 96–106.
2. Umpleby, S. What comes after second order cybernetics? // Cybernetics & Human Knowing. – 2001. – Vol. 8. – № 3. – P. 87–89.
3. Chiolerio, A. Liquid Cybernetic Systems: The Fourth-Order Cybernetics // Advanced Intelligent Systems. – 2020. – Vol. 2. – № 12. – DOI: <https://doi.org/10.1002/aisy.202000120>.
4. Bar-Yam, Yaneer (2002). General Features of Complex Systems. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK, 2002).
5. A Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. – Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. – 498 p.
6. Кудж, С.А. Оценка групповой когнитивной сложности // Славянский форум. – 2018. – № 2(20). – С. 36–43.
7. Железняков, В.А. Уровни сложности информационных систем // Славянский форум. – 2015. – № 3(9). – С. 97–104.
8. Ожерельева, Т.А. Сложность информационных ресурсов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 80–84.
9. Ознамец, В.В. Проблемы устойчивого развития территорий // Economic Consultant. – 2018. – № 2 (22). – С. 11–18.
10. Система // Большой Российский энциклопедический словарь. – Москва: БРЭ, 2003. – С. 1437.
11. Берталанфи фон Л. Общая теория систем – критический обзор / В кн. Исследования по общей теории систем. – Москва: Прогресс, 1969. – С. 23–82.
12. Месарович М., Такахара Н. Общая теория систем: математические основы. – Москва: Мир, 1978. – 311 с.
13. Уемов, А.И. Системный подход и общая теория систем. – Москва: Мысль, 1978. – 272 с.
14. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. – Москва: Просвещение, 2005. – 264 с.
15. Цветков, В.Я. Теория систем. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 88 с.
16. Булгаков С.В., Цветков В.Я. Сложные системы: монография. – Москва: МАКС Пресс, 2019. – 184с.
17. Цветков, В.Я. Основы теории сложных систем: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2019. – 152 с.
18. Цветков, В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2005. – №3. – С. 78–85.
19. Омельченко, А.С. ГИС как человеко-машинная система и семь принципов академика Глушкова // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2006. – №3. – С. 127–133.
20. Цветков, В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С. 13–19.
21. Павлов, А.И. Сложные организационные системы // Славянский форум. – 2018. – № 4(22). – С. 54–59.
22. Буравцев, А.В. Сложные технологические системы // Славянский форум. – 2017. – № 4(18). – С. 14–19.
23. Кудж, С.А. Развитие сложных организационно-технических систем // Славянский форум. – 2019. – № 2(24). – С. 107–224.
24. Miller, J.G. Living systems: Basic concepts // Behavioral science. – 1965. – Vol. 10. – №. 3. – P. 193–237.
25. Leikas J., Koivisto R., Gotcheva N. Ethical framework for designing autonomous intelligent systems // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2019, 5, 18; doi:10.3390/joitmc5010018.
26. Номоконова, О.Ю. Сложные системы данных // Славянский форум. – 2019. – № 2(24). – С. 129–136.
27. Цветков, В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.
28. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы: монография. – Saarbrücken: Издательство LAP LAMBERT, 2012. – 297 с.

29. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. – № 4. – С. 52–57.
30. *Tengö M. et al.* Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond-lessons learned for sustainability // Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2017. – Vol. 26–27. – Pp. 17–25; doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.005
31. *Побединский Г.Г., Столяров И.А.* Современное состояние государственной системы геодезического обеспечения Российской Федерации и основные направления ее развития // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – № 5. – Pp. 14–27.
32. *Luhmann, Niklas (1975):* Systemtheorie, Evolutionstheorie und Kommunikationstheorie, in: Sociologische gids 22, 154–168.
33. *Эшби, У.Р.* Принципы самоорганизации. – Москва: Мир, 1966. – 332 с.

References

1. *Kudzh S.A., Cvetkov V.Ya.* Razvitie social'noj kibernetiki // Slavyanskij forum. – 2020. – № 3(29). – S. 96–106.
2. *Umpleby, S.* What comes after second order cybernetics? // Cybernetics & Human Knowing. – 2001. – Vol. 8. – № 3. – P. 87–89.
3. *Chiolerio, A.* Liquid Cybernetic Systems: The Fourth-Order Cybernetics // Advanced Intelligent Systems. – 2020. – Vol. 2. – № 12. – DOI: <https://doi.org/10.1002/aisy.202000120>.
4. *Bar-Yam, Yaneer (2002).* General Features of Complex Systems. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK, 2002).
5. *A Hiroki Sayama.* Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. – Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. – 498 p.
6. *Kudzh, S.A.* Ocenka gruppovoj kognitivnoj slozhnosti // Slavyanskij forum. – 2018. – № 2(20). – S. 36–43.
7. *ZHeleznyakov, V.A.* Urovni slozhnosti informacionnyh sistem // Slavyanskij forum. – 2015. – № 3(9). – S. 97–104.
8. *Ozherel'eva, T.A.* Slozhnost' informacionnyh resursov // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2014. – № 4. – S. 80–84.
9. *Oznamec, V.V.* Problemy ustojchivogo razvitiya territorij // Economic Consultant. – 2018. – № 2 (22). – S. 11–18.
10. Sistema // Bol'shoj Rossijskij enciklopedicheskij slovar'. – Moskva: BRE, 2003. – S. 1437.
11. *Bertalanfi fon L.* Obshchaya teoriya sistem – kriticheskij obzor / V kn. Issledovaniya po obshchej teorii sistem. Moskva: Progress, 1969. – S. 23–82.
12. *Mesarovich M., Takahara N.* Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy. – Moskva: Mir, 1978. – 311 s.
13. *Uemov, A.I.* Sistemnyj podhod i obshchaya teoriya sistem. – Moskva: Mysl', 1978. – 272 s.
14. *Monahov S.V., Savinyh V.P., Cvetkov V.Ya.* Metodologiya analiza i proektirovaniya slozhnyh informacionnyh sistem. – Moskva: Prosveshchenie, 2005. – 264 s.
15. *Cvetkov, V.Ya.* Teoriya sistem. – Moskva: MAKS Press, 2018. – 88 s.
16. *Bulgakov S.V., Cvetkov V.Ya.* Slozhnye sistemy: monografiya. – Moskva: MAKS Press, 2019. – 184 s.
17. *Cvetkov, V.Ya.* Osnovy teorii slozhnyh sistem: uchebnoe posobie. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2019. – 152 s.
18. *Cvetkov, V.Ya.* Prikladnye sistemy // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka. – 2005. – №3. – S. 78–85.
19. *Omel'chenko, A.S.* GIS kak cheloveko-mashinnaya sistema i sem' principov akademika Glushkova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos"emka. – 2006. – №3. – S. 127–133.
20. *Cvetkov, V.Ya.* Model' informacionnoj situacii // Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2017. – №3(27). – S. 13–19.
21. *Pavlov, A.I.* Slozhnye organizacionnye sistemy // Slavyanskij forum. – 2018. – № 4(22). – S. 54–59.
22. *Buravcev, A.V.* Slozhnye tekhnologicheskie sistemy // Slavyanskij forum. – 2017. – № 4(18). – С. 14–19.
23. *Kudzh, S.A.* Razvitie slozhnyh organizacionno-tekhnicheskij sistem // Slavyanskij forum. – 2019. – № 2(24). – С. 107–224.

24. *Miller, J.G.* Living systems: Basic concepts // Behavioral science. – 1965. – Vol. 10. – № 3. – P. 193–237.
25. *Leikas J., Koivisto R., Gotcheva N.* Ethical framework for designing autonomous intelligent systems // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2019, 5, 18; doi:10.3390/joitmc5010018.
26. *Nomokonova, O.Yu.* Slozhnye sistemy dannyh // Slavyanskij forum. – 2019. – № 2(24). – S. 129–136.
27. *Cvetkov, V.Ya.* Geoinformacionnyj geotekhnicheskij monitoring // Nauki o Zemle. – 2012. – № 4. – S. 54–58.
28. *Cvetkov V.Ya., Rozenberg I.N.* Intellektual'nye transportnye sistemy: monografiya. – Saarbrücken: Izdatel'stvo LAP LAMBERT, 2012. – 297 s.
29. *Savinyh V.P., Cvetkov V.Ya.* Geoinformatika kak sistema nauk // Geodeziya i kartografiya. – 2013. – № 4. – S. 52–57.
30. *Tengö M. et al.* Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond-lessons learned for sustainability // Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2017. – Vol. 26–27. – Pp. 17–25; doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.005
31. *Pobedinskij G.G., Stolyarov I.A.* Sovremennoe sostoyanie gosudarstvennoj sistemy geodezicheskogo obespecheniya Rossijskoj Federacii i osnovnye napravleniya ee razvitiya // Interekspo Geo-Sibir'. – 2017. – № S. – Pp. 14–27.
32. *Luhmann, Niklas (1975):* Systemtheorie, Evolutionstheorie und Kommunikationstheorie, in: Sociologische gids 22, 154–168.
33. *Eshbi, U.R.* Principy samoorganizacii. – Moskva: Mir, 1966. – 332 s.