

11. Li Li, Cheng Feng, Sun Wei-Ning, Xu Yao-Qiang W.X.-Z. Study on evaluation system of meteorological hazards for power grid based on Cloud GIS // Int. Conf. Power Syst. 120 Technol. 2014. P. 1848–1852.

12. Мельник Э.В., Орда-Жигулина М.В., Родина А.А., Орда-Жигулина Д.В. Об организации сбора и обработки данных в системе прогнозирования опасных явлений для прибрежной зоны с применением технологий цифровой экономики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. Т. 8. С. 94–103.

13. Pankratova N. D., Gorelova G.V., Pankratov V.A. Strategy for the Study of Interregional Economic and Social Exchange Based on Foresight and Cognitive Modeling Methodologies // Workshop Proc.of the 8th International Conference on “Mathematics. Information Technologies. Education”, MoMLet&DS-2019, Shatsk, Ukraine, June 2-4, 2019. P. 136–142.

14. Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ N 2018661506 от 07.09.2018.

15. Vraneš S., Stanojevic M., Janev V., Mijovic V., Tomasevic N., Kraus L., Ilic Z. Application of complex event processing paradigm in situation awareness and management // Proc. of the 22nd International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2011), Toulouse, France. IEEE, 2011. P. 289–293.

16. Таха Х.А. Глава 18. Имитационное моделирование // В кн. Введение в исследование операций [Operations Research: An Introduction] / Х.А. Таха. 7-е изд. М.: «Вильямс», 2007. С. 697–737.

17. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование. М: МГТУ им. Баумана 2008. 296 с.

18. Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А.Абрамовой, К.С. Гинсера, Д.А. Новикова. М.: КомКнига, 2006. 496 с.

УДК 004.81

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-193

*Мельник Эдуард Всеволодович*<sup>1</sup>,

д-р техн. наук, заведующий лабораторией;

*Орда-Жигулина Марина Владимировна*<sup>2</sup>,

канд. техн. наук, доцент, стар. науч. сотр.;

*Орда-Жигулина Дина Владимировна*<sup>3</sup>,

канд. техн. наук, науч. сотр.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА К МОНИТОРИНГУ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОЭКОСИСТЕМАХ**

<sup>1, 2, 3</sup> «Федеральный исследовательский центр

Южный научный центр РАН», Ростов-на-Дону, Россия,

<sup>1</sup> evm17@mail.ru, <sup>2</sup> jigulina@mail.ru

**Аннотация.** Авторами статьи была разработана модель когнитивного моделирования на основе анализа параметров, характеризующих состояние гидроэкосистемы Азовского моря. Данная модель может быть применена при разработке систем мониторинга и прогнозирования опасных природных процессов в

части автоматизированной помощи принятия решений. В разработанной модели с помощью аппарата когнитивного анализа реализована интеграция различных видов мониторинга между собой, выявлены неочевидные связи между ними, сформирована база знаний данных для экспертов. Когнитивные карты позволяют оценить совокупное влияние и значимость различных данных о состоянии гидроэкосистемы для того, чтобы подтвердить факт присутствия глубинных изменений в экосистеме и учесть эти изменения при имитационном моделировании опасных природных процессов.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование, опасные природные процессы, Азовское море, методы интеллектуального анализа данных.

**Eduard V. Melnik,**

Dr. Tech. Sciences, Head of Laboratory;

**Marina V. Orda-Zhigulina,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher;

**Dina V. Orda-Zhigulina,**

Candidate of Technical Sciences, Research Fellow

## **APPLICATION OF COGNITIVE ANALYSIS TO MONITORING AND FORECASTING DANGEROUS NATURAL PROCESSES IN HYDROECOSYSTEMS**

<sup>1, 2, 3</sup> Federal State Budgetary Institution of Science “Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”,  
Rostov-on-Don, Russia,  
<sup>1</sup> evm17@mail.ru, <sup>2</sup> jgulina@mail.ru

**Abstract.** The authors of the article developed a model of cognitive modeling based on the analysis of parameters characterizing the state of the hydroecosystem of the Sea of Azov. This model can be applied in the development of monitoring and forecasting systems for hazardous natural processes in terms of automated decision-making assistance. In the developed model, using the apparatus of cognitive analysis, integration of various types of monitoring among themselves is implemented, non-obvious connections between them are revealed, a database of knowledge for experts is formed. Cognitive maps make it possible to assess the combined effect and significance of various data on the state of the hydroecosystem in order to confirm the presence of deep-seated changes in the ecosystem and take these changes into account when simulating hazardous natural processes.

**Keywords:** cognitive modelling, dangerous natural phenomena, Asov Sea, data mining.

### **Введение**

В условиях постоянно возрастающего антропогенного воздействия, увеличения масштабов и частоты опасных природных и техногенных процессов, опасности их последствий исследованию проблем безопасности придается особое значение. В связи с этим, приоритетными

научными направлениями являются идентификация и оценка природной и техногенной опасности, совершенствование систем мониторинга, прогнозирования и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций, развитие теоретических и практических основ управления безопасностью, разработка комплекса мероприятий по обеспечению безопасности. Становятся актуальными мониторинговые исследования в бассейне Азовского моря, которые бы включали как классические, натурные наблюдения, так и новые технологии бесконтактного мониторинга.

В результате при мониторинге и прогнозировании опасных природных процессов возникает задача получения, накопления, хранения и сопоставления и обработки больших объемов децентрализованных данных, содержащих информацию о различных интегральных и функциональных параметрах гидроэкосистемы. Данная задача может быть решена с помощью применения современных информационных технологий, в частности, технологий интеллектуального анализа данных. Для чего требуется построение новых моделей для подсистем помощи принятия решений, в частности, на основе когнитивного моделирования сложных систем [1, 5 – 7, 9, 17], который позволяет выявлять неочевидные взаимосвязи между данными и уровень их взаимного влияния.

### **1. Оценка интегральных показателей состояния гидроэкосистемы в системах мониторинга и прогнозирования опасных процессов и обеспечения безопасности населения и береговой инфраструктуры**

Авторами был разработан метод обработки и передачи информации в системах мониторинга и прогнозирования опасных процессов и обеспечения безопасности населения и береговой инфраструктуры для различных областей применения на основе ранее предложенного «комбинированного подхода» к мониторингу и прогнозированию опасных природных процессов береговой зоны [4, 8, 10, 11]. В данном методе учтена необходимость сбора и обработки большого объема данных от разных источников (которые содержат информацию о различных параметрах гидроэкосистемы) и исследована возможность применения этих данных при прогнозировании опасных природных явлений в Понто-Каспийском регионе. Установлено, что для прогнозирования развития ситуации в случае возникновения различных явлений и изменения характеристик объектов, а также с целью снижения

стоимости проведения экспедиций и натурных наблюдений целесообразно использовать когнитивный анализ для одновременного анализа данных гидрологического, метеорологического и биологического мониторинга (в части анализа состояния сообществ зообентоса под действием антропогенных и климатических факторов, в том числе экстремальных условий окружающей среды) и анализа социальной активности населения.

С информационной точки зрения суть данного метода заключается в интеграции неоднородных данных от различных устройств (датчиков, коммуникационных устройств, компьютеров, серверов) и систем в рамках единой системы за счет применения технологии распределенного реестра, туманных вычислений и Интернета вещей. При этом за счет применения технологий распределенного реестра достигается возможность реализации системы без административной иерархической подчиненности. Наличие синхронизированных локальных копий данных позволяет существенно уменьшить временные затраты на доступ к ним; реализация туманных вычислений позволяет эффективно распределить вычислительную и коммуникационную нагрузку между устройствами и каналами связи различных слоев (краевого – датчики; туманного – коммуникационные устройства, ноутбуки, контроллеры, гаджеты; облачного – серверы); применение технологий Интернета вещей позволяет реализовать непосредственное взаимодействие между отдельными устройствами.

На основании разработанного авторами метода можно интегрировать между собой различные виды параметров гидроэкосистем юга России. Так, измеренные и обработанные данные, характеризующие различные параметры гидроэкосистемы в «спокойном» состоянии и во время воздействия на экосистему опасных природных процессов являются входными данными для автоматизированных систем помощи принятию решений.

При этом измерение различных типов показателей состояния гидроэкосистемы формирует различные типы разнородных данных, которые необходимо согласованно обрабатывать, передавать и сохранять при всех типах мониторинга, а также отслеживать антропогенную активность населения и экспертов и ее воздействие на состояние гидроэкосистемы юга России. В таком случае, при реализации интеллектуального автоматизированного анализа данных, в своих оценках эксперты должны опираться на основные интегральные

показатели, характеризующие состояние гидроэкосистемы, в том числе, на различные метеорологические, гидрометеорологические, гидрохимические и гидробиологические параметры.

Такая интеграция различных интегральных показателей между собой, выявление неочевидных связей между ними, формирование базы знаний для экспертов может быть реализована с помощью аппарата когнитивного анализа. Когнитивные карты при этом позволяют оценить совокупное влияние и значимость различных данных о состоянии гидроэкосистемы для того, чтобы подтвердить факт присутствия глубинных изменений в экосистеме и учесть эти изменения при имитационном моделировании опасных природных процессов.

Величина и скорость изменения данных параметров являются входной информацией для модели когнитивного моделирования подсистемы поддержки принятия решений в рамках имитационного моделирования опасных природных процессов Понто-Каспийского региона.

## **2. Когнитивная модель для анализа глубинных состояний гидроэкосистемы Азовского моря**

Авторами была разработана модель когнитивного моделирования и метод и алгоритмы создания когнитивных карт для описания параметров гидросистем юга России, результаты работы модели были проверены с помощью программы CMLS [17]. Данные моделирования включали в себя анализ 33 различных параметров и установление взаимосвязей между ними. Разработка когнитивной модели гидросистемы Азовского моря как части Понто-Каспийского региона производилась на основании теоретических данных об экосистемах и теории когнитивного моделирования [2, 13, 14], опросов экспертов, анализа статистических данных. Была разработана и исследована когнитивная модель «Глубинные структурные изменения в гидроэкосистеме Понто-Каспийского региона».

В результате исследования закономерности экосистемных процессов Таганрогского залива, дельты Дона и Азовского моря были определены в наглядной форме в виде ориентированных графов с вершинами различного веса.

Были определены взаимные связи и взаимное влияние различных параметров гидроэкосистемы для организации мониторинга опасных явлений юга России на основе анализа различных гидрохимических и гидрометеорологических параметров на примере

системы «Нижний Дон-Таганрогский залив-Азовское море» как части Понто-Каспийского региона, что показано на рисунке 1.

На рисунке изображена когнитивная карта, показывающей связь между метеорологическими и различными гидрологическими параметрами (среднегодовая соленость, среднегодовая температура воды, объем стока) и гидробиологическими параметрами (видовой состав и биоразнообразие бентосасообществ, среднегодовая масса и численность бентоса), а также уровня социальной активности пользователей соцсетей и экспертов.

Взаимосвязи носят эмпирический характер и служат для проверки сценариев импульсного воздействия на одну или несколько вершин и их взаимного отклика.

Когнитивная карта построена для одновременной оценки таких параметров как объем стока, среднегодовая соленость, параметры, характеризующие климатические изменения (многоводные и маловодные годы), антропогенная активность, интегральные показатели бентоса и др. Вершины когнитивной карты имеют различный вес в зависимости от оцениваемого параметра, связи между вершинами (ребра графа) отражают взаимосвязи между различными параметрами гидроэкосистемы.

Были промоделированы импульсные процессы, которые характеризуют взаимное влияния параметров гидроэкосистемы для построенной когнитивной карты. Показаны зависимости изменения гидрометеорологических, гидрохимических и гидробиологических параметров в совокупности с изменением такого параметра, как действия экспертов и влияние изменения всех этих параметров на глубинные изменения гидроэкосистемы. Как следует из проведенного анализа, при значительном изменении качественных и количественных гидрологических, гидрохимических и метеорологических параметров гидроэкосистемы можно подтвердить факт наступления глубинных долгосрочных изменений в экосистеме Понто-Каспийского региона.

При одновременном увеличении одних параметров и снижении других параметров глубинные изменения в экосистеме происходят медленно или даже снижаются за счет взаимной компенсации параметров.

С информационно-программной точки зрения, отличительной особенностью разработанной модели когнитивного моделирования является реализация структуры хранения данных блокчейн.

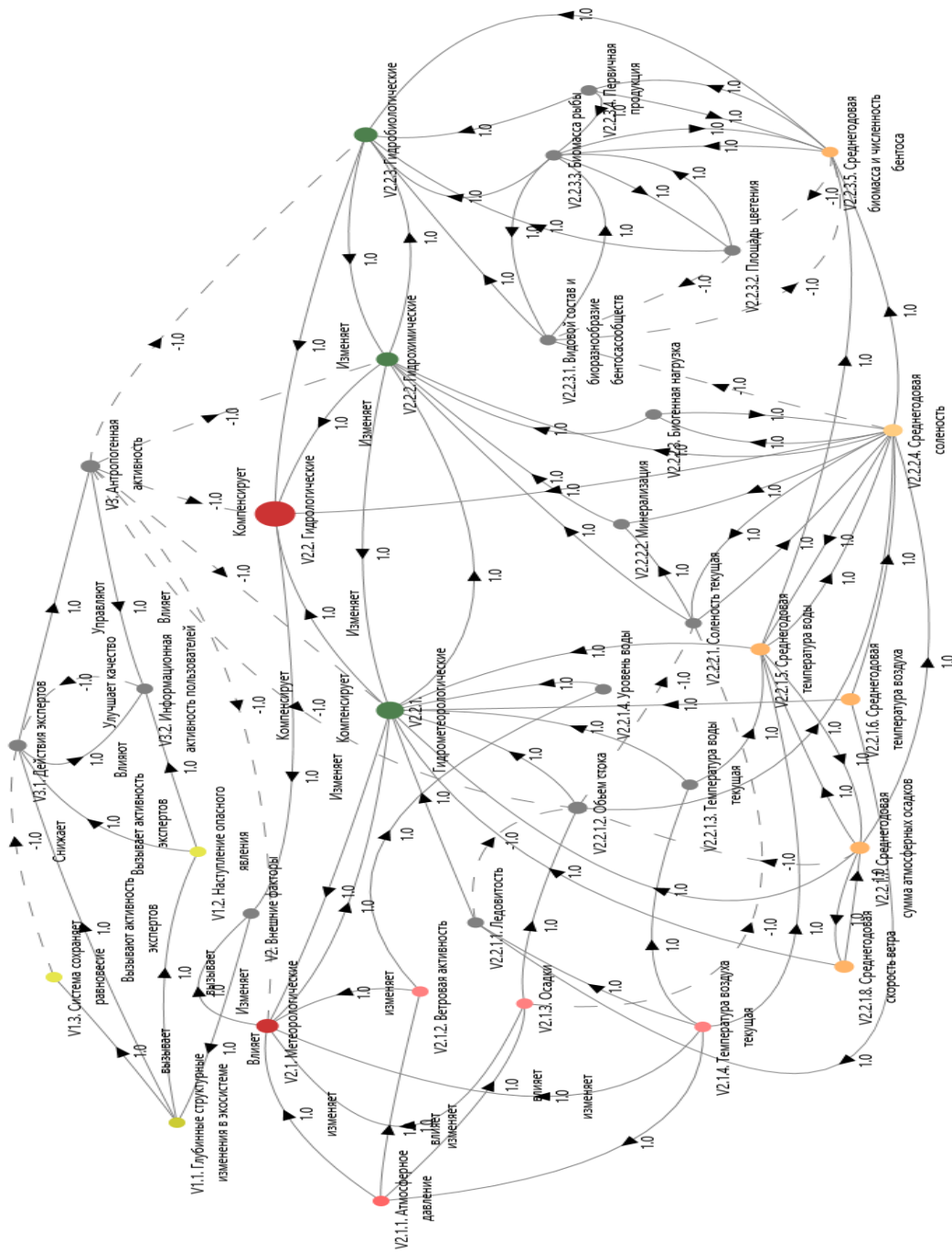


Рис. 1. Когнитивная модель, показывающая связь между различными параметрами гидросистемы

Для сбора, обработки и хранения данных о различных параметрах гидроэкосистемы Азовского моря и об информационной активности пользователей социальных сетей в связи с опасными природными процессами применяются технологии «цифровой экономики»: большие данные, технологии беспроводной связи, системы распределенного реестра; промышленный интернет (интернет вещей), применение которых обеспечивает возможность интеграции разработанного модуля когнитивного моделирования в системы помощи принятия решений, его масштабируемость и устойчивость к недетерминированным изменениям структуры за счет применения технологии распределенного реестра, а также возможность обработки большого потока слабоструктурированных данных (например, ретроспективных данных о состоянии экосистемы Понто-Каспийского региона), поступающих из различных источников.

Проблема обработки таких больших объемов может быть решена с помощью реализации подсистемы помощи поддержки принятия решений как децентрализованной и с применением таких технологий как «туманные» и облачные вычисления [12, 15, 16].

Разработанная модель имеет наглядный графический интерфейс, для которого в явном виде представлены связи между различными параметрами гидроэкосистемы Понто-Каспийского региона как метеорологическими, так и гидрологическими (уровень стока, соленость, ледовитость, скорость ветра, температура воздуха, интегральные параметры бентоса и др.). Реализована возможность построения когнитивной карты и анализа циклов и импульсных процессов при изменении одного из параметров системы.

### **Выводы**

Разработанная модель когнитивного моделирования может быть интегрирована в децентрализованные интеллектуальные системы мониторинга и прогнозирования опасных природных процессов в части автоматизированной помощи принятия решений.

С точки зрения предоставления информации, разработанный модуль когнитивного моделирования позволяет в наглядной форме в виде ориентированных графов с вершинами различного веса представлять закономерности экосистемных процессов Таганрогского залива, дельты Дона и Азовского моря и в строгой математической форме определять взаимные связи и взаимное влияние различных параметров гидроэкосистемы, которые изучаются традиционными методами мониторинга.



Показано, что построение когнитивных карт в качестве средства интеллектуального анализа данных позволяет адаптировать параметры о состоянии природной среды, определяемые с помощью традиционных видов мониторинга к подсистемам имитационного моделирования в части автоматизированных узлов поддержки принятия решений.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-80092.

### **Список литературы**

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д. И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами: сборник трудов. 2006. № 16. С. 26–39.

2. Анненкова Н.П. Пресноводные и солоноватоводные Polychaeta СССР // Определители организмов пресноводных вод СССР Пресноводная фауна. № 2. Л., 1930. С. 1–47.

3. Булышева Н.И. и др. Макрозообентос дельты Дона осенью 2014 г. // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии. 2016. С. 333–336.

4. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды: обзор существующих подходов // Успехи современной биологии. 2002. Вып. 122, № 2. С. 115–135.

5. Casti J. Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-scale Systems. Chichester – New York – Brisbane – Toronto: JOHN WILEY and SONS; A Wiley – Interscience Publication International Institute for Applied Systems Analysis, 1979.

6. Горелова Г.В. Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. 332 с.

7. Gorelova G.V., Pankratova N.D. Scientific Foresight and Cognitive Modeling of Socio-Economic Systems // Proc. of the 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS-2018), IFAC Papers OnLine. ELSEVIER, 2018. 51–30. P. 145–149.

8. Гудимов А.В., Комарова Е.П. Новый биомониторинг и решение экологических проблем // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. 2019. С. 114–115.

9. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию // Труды 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» (CASC'2001) Том 1. М: ИПУ РАН, 2001. С. 4–18.

10. Мисейко Г.Н. Зооценозы в системе диагностического мониторинга экологического состояния разнотипных водных объектов юга Западной Сибири. Ульяновск: Ульян. гос. ун-т, 2004.

11. Матишов Г.Г., Григоренко К.С., Московец А.Ю. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона // Наука Юга России. 2017. Вып. 13, № 1. С. 35–43.

12. Мельник Э.В. и др. Применение технологий цифровой экономики при разработке средств мониторинга и прогнозирования опасных процессов и обеспечения безопасности населения и береговой инфраструктуры // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибреж-

ную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов. 2019. С. 289–291.

13. Семин В.Л. и др. Влияние колебаний солености на структуру сообществ зообентоса таганрогского залива // Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозы развития. 2018. С. 195–200.

14. Остроумов А.А., Совинский В.К. Введение в изучение фауны Понто-Каспийско-Аральского морского бассейна // Учен. зап. Казан. ун-та. Критика и библиогр. 1903. Вып. 5. № 6. С. 21–35.

15. Orda-Zhigulina M.V., Melnik E.V., Ivanov D.Ya., Rodina A.A. Combined method of monitoring and predicting of hazardous phenomena // Adv. Intell. Syst. Comput. 2019. Vol. 984. P. 55–61.

16. Orda-Zhigulina M.V., Melnik E.V., Ivanov D.Ya. Combined Method of Monitoring and Predicting of Hazardous Phenomena // Computer Science On-line Conference. 2019. P. 55–61.

17. Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня (Горелова Г.В., Калининченко А.И., Кузьминов А.Н.). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661506 от 07.09.2018.

УДК 004.891+303.732+005+519.81

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-194

*Калининченко Алексей Игоревич,*  
аспирант

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ В ФОРМАТ КОГНИТИВНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия,  
alecsy.k@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки блока обмена данными с внешними источниками в формат когнитивной имитационной модели. В целях разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) для сложных систем (социальных, экономических, экологических и др.) была поставлена задача расширить возможности программной системы когнитивного моделирования сложных систем CMLS путем добавления в нее блока, позволяющего вводить данные мониторинга параметров сложной системы непосредственно в когнитивную модель системы. CMLS создана в Южном федеральном университете, позволяет разрабатывать различные математические типы когнитивных моделей проводить анализ их свойств, моделировать сценарии развития событий.

**Ключевые слова:** социально-экономическая система, когнитивное моделирование, сценарный анализ, мониторинг, блок обмена данными.