

7. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), «Строительство и архитектура». 2015. С. 615–628

8. Куликова Е.Ю., Корчак А.В., Левченко А.Н. Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 207 с.

9. Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С., Косяченко С.А., Нижегородцев Р.М., Чернов И.В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. М.: ИПУ РАН, 2002. 122 с.

10. Левченко А.Н. О новом направлении научных исследований в строительной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. №2. С. 15–21.

11. 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 338.266; 332.05

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-192

*Горелова Галина Викторовна*¹,

д-р техн. наук, профессор, научный руководитель;

*Мельник Эдуард Всеволодович*²,

д-р техн. наук, заведующий лабораторией

КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК СЛОЖНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹ Южный федеральный университет,
Институт управления в экономических, экологических и социальных
системах, Таганрог, Россия,
gorelova-37@mail.ru

² Южный научный центр РАН, Таганрог, Россия,
evm17@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы имитационного моделирования структуры и поведения водной экологической системы Понто-Каспийского региона и проведено когнитивное имитационное моделирование этой сложной системы. Когнитивное моделирование заключалось в разработке иерархической когнитивной карты, представляющей структуру этой экосистемы, исследовании свойств этой модели и проведения сценарного моделирования на ней. Исследования проводились на основании теоретических, статистических и экспертных данных об этой сложной системе. Приведены примеры когнитивной карты, исследования ее структурной устойчивости и одного из возможных сценариев развития ситуаций в системе.

Ключевые слова: сложные системы, водные экосистемы, анализ, имитация, когнитивное моделирование, сценарии развития.

Galina V. Gorelova¹,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Supervisor;
Eduard V. Melnik²,
Doctor in Computer Sciences, Head of Laboratory

**COGNITIVE APPROACH TO STUDY
WATER ECOSYSTEMS
AS COMPLEX HIERARCHICAL SYSTEMS**

¹ South Federal University, Institute of Management in Economic, Environmental and Social and Systems, Taganrog, Russia,
gorelova-37@mail.ru

² Southern Scientific Center of the Russian Academy, Taganrog, Russia,
evm17@mail.ru

Abstract. The paper considers the issues of simulation modeling of the structure and behavior of the aquatic ecological system of the Ponto-Caspian region and carries out cognitive simulation of this complex system. Cognitive modeling consisted of developing a hierarchical cognitive map representing the structure of this ecosystem, studying the properties of this model, and conducting scenario modeling on it. Studies were conducted on the basis of theoretical, statistical and expert data on this complex system. Examples of a cognitive map, studies of its structural stability and one of the possible scenarios for the development of situations in the system are given.

Keywords: complex systems, aquatic ecosystems, analysis, imitation, cognitive modeling, development scenarios.

Введение

Водные экосистемы регионов должны рассматриваться как сложные системы. Это требует учета всех их особенностей и закономерностей, которым подчиняются явления и процессы в сложных системах, таких, как [1]: 1) закономерности взаимодействия частей и целого (целостность, интегративность); 2) закономерности иерархической упорядоченности систем (коммуникативность, иерархичность); 3) закономерности функционирования и развития систем (историчность, самоорганизация); 4) закономерности осуществимости систем (эквивинальность, закон необходимого разнообразия, потенциальная эффективность); 5) закономерности целеобразования. Для сложных систем характерны слабоструктурированные проблемы, функционирование и принятие решений в условиях неопределенности разного рода, часто в условиях вероятностной неопределенности, большого количества данных, неточности и нечеткости информации. Для расширения и уточнения знаний о сложной системе, ее структуре, для прогнозирования ее поведения и развития требуется использовать имитационное моделирование [7, 10, 16, 17].

В данной работе было использовано когнитивное имитационное моделирование [2 – 9, 13, 14] в исследовании водной экосистемы Понто-Каспийского региона, для которого характерны все вышеназванные закономерности и условия.

Природные комплексы Юга России изучаются уже длительное время представителями всех областей естественных наук. Однако сегодня требуется более детальный анализ полученных данных, определение вектора дальнейшей трансформации этих экосистем с учетом климатических и антропогенных факторов. Особенно остро стоит эта проблема для Понто-Каспийского региона и экосистемы Азовского моря, которое в большей степени, по сравнению с другими морями России, зависит от материкового стока и антропогенных факторов.

Любая система оценки состояния природной среды складывается из проведения экспедиционных исследований и анализа полученных данных, на основе которого принимаются решения о перспективах функционирования и практического использования экосистемы. Этих данных очень много, они имеют разную природу, качественную и количественную, слабоструктурированы. При разработке имитационной модели экосистемы, прогнозирования опасных процессов в ней необходимо учитывать большое количество слабоструктурированных данных, поступающих из различных источников, модель должна обладать устойчивостью к недетерминированным изменениям структуры системы, с ее помощью необходимо получать ответы на вопрос, какие процессы могут возникнуть в системе, если будут происходить изменения в ее внутренней и внешней среде. Когнитивная имитационная модель сложной системы может удовлетворять этим требованиям при условии квалифицированной работы ее создателей – экспертов, исследователей, специалистов в предметной области, инженеров-когнитологов. Но в любом исследовании, как известно, всегда присутствует риск человеческого фактора [18].

Разработка когнитивной модели

Разработка когнитивной модели сложной водной экосистемы Понто-Каспийского региона с учетом ее иерархичности производилась на основании теоретических данных об экосистемах, экспертных опросов, анализа статистических данных.

Исследование проводилось в три этапа. Первоначально была разработана когнитивная карта верхнего уровня I_{G1} (рис. 1), затем на ее основе были разработаны и исследованы когнитивные карты нижнего уровня, на рисунке 2 изображена двухуровневая когнитивная карта I_{G12} .

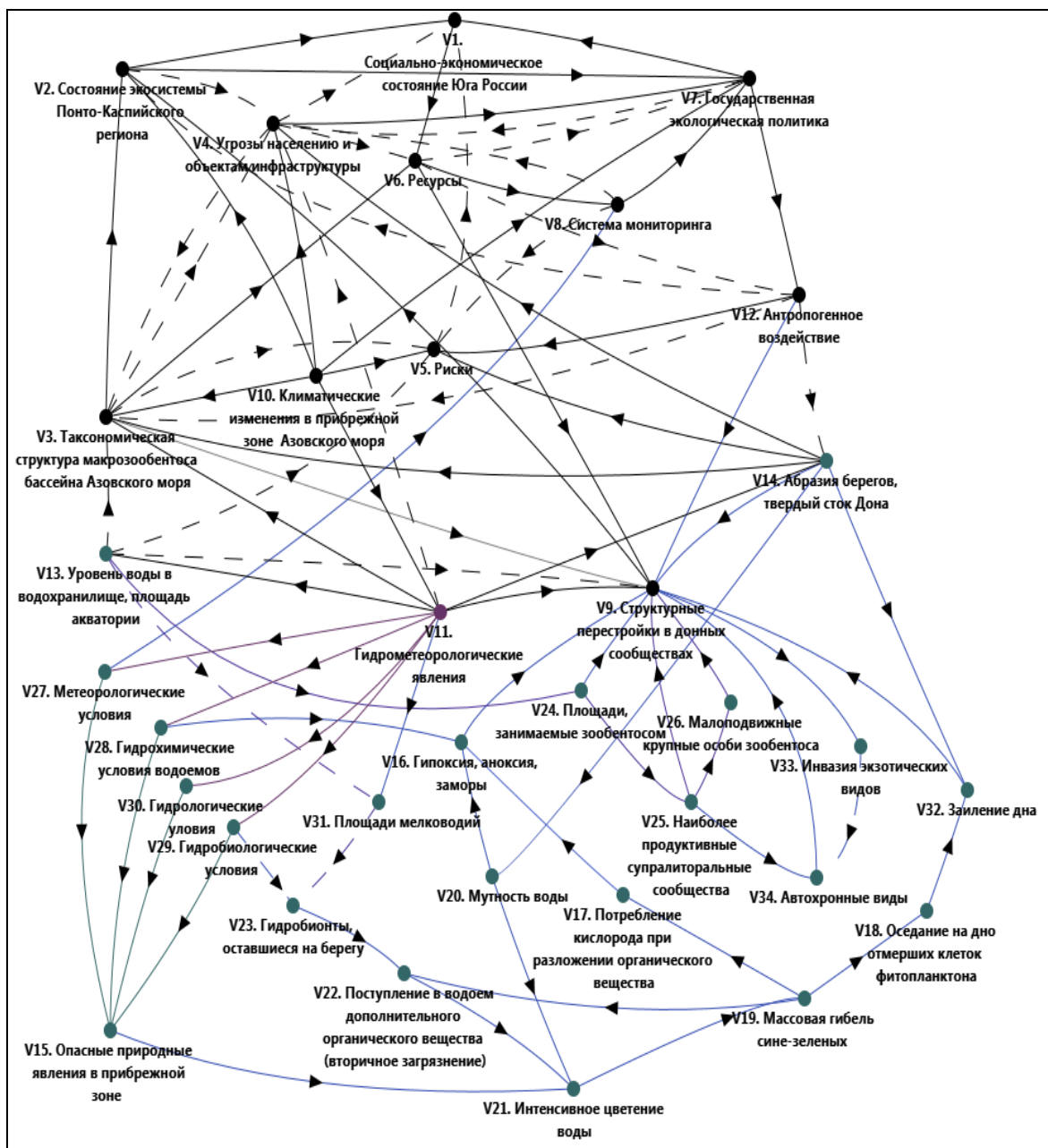


Рис.1. Иерархическая когнитивная модель IG_{12} : верхний (V1-V14) и средний (V15-V34) уровни

Как известно, когнитивные карты отражают причинно-следственные отношения между концептами (вершинами) сложной системы и математически представляют собой знаковый ориентированный граф [2 – 9]. При разработке когнитивных карт первоначально необходимо определить базовые вершины; в данном случае вершинами являются концепты водной экосистемы (например, такие как метеорологические, гидробиологические, гидрохимические и др. условия), а также климатические и антропогенные воздействия, воздействие, угрозы населению и др. (см. рис. 1). После определения вершин

устанавливаются факты причинно-следственных отношений между ними (дуги когнитивной карты). Когнитивная карта имитирует структуру реальной сложной системы.

Когнитивные карты были разработаны с помощью программной системы когнитивного моделирования сложных систем CMLS (Cognitive Modelling Large System) [14]. На когнитивных картах сплошными линиями отображен знак влияния «+» между вершинами, имеющий смысл «увеличение/уменьшение сигнала в V_i приводит к увеличению/уменьшению сигнала в V_j ; штрихпунктирными линиями отображен знак влияния «-» между вершинами, имеющий смысл «увеличение/уменьшение сигнала в V_i приводит к уменьшению/увеличению сигнала в V_j .

После разработки когнитивной карты на втором этапе когнитивного моделирования был произведен анализ свойств модели, таких, как ее устойчивость к возмущениям, структурная устойчивость, анализ путей и циклов, анализ связности и др. На рисунке 2 представлены результаты анализа циклов когнитивной карты I_{G12} и выделен один из положительных циклов.

Анализ циклов когнитивной модели I_{G12} двух уровней показал, что в этой системе содержится 363 цикла, среди них – 254 цикла положительной (усиливающей) и 109 циклов отрицательной (стабилизирующей) обратной связи. Заметим, положительные циклы имеют четное число отрицательных дуг или не имеют их совсем, отрицательные циклы содержат нечетное число отрицательных дуг. Система считается структурно устойчивой, если в ней наблюдается нечетное число отрицательных циклов. По этому критерию анализируемая система является структурно устойчивой.

Анализ других свойств модели I_{G12} показал не противоречие ее теоретическим и практическим знаниям о водных экосистемах. Поэтому далее был проведен следующий, третий, этап имитационного моделирования – моделирование импульсных процессов, которые могут развиваться в системе под воздействием изменений внутренних и внешних факторов и воздействием управленческих решений. С помощью программной системы CMLS возможно внесение возмущений разной величины (нормированной) в любую из вершин, а также в их комбинацию. При внесении возмущений в вершины, ищется ответ на вопрос: «А что будет, если ...?» В процессе импульсного моделирования возможно вносить возмущающие воздействия на любом такте моделирования. Это дает возможность изменять (корректировать) сценарии в модельной динамике, определять воздействия, приближающие процессы к желаемым.

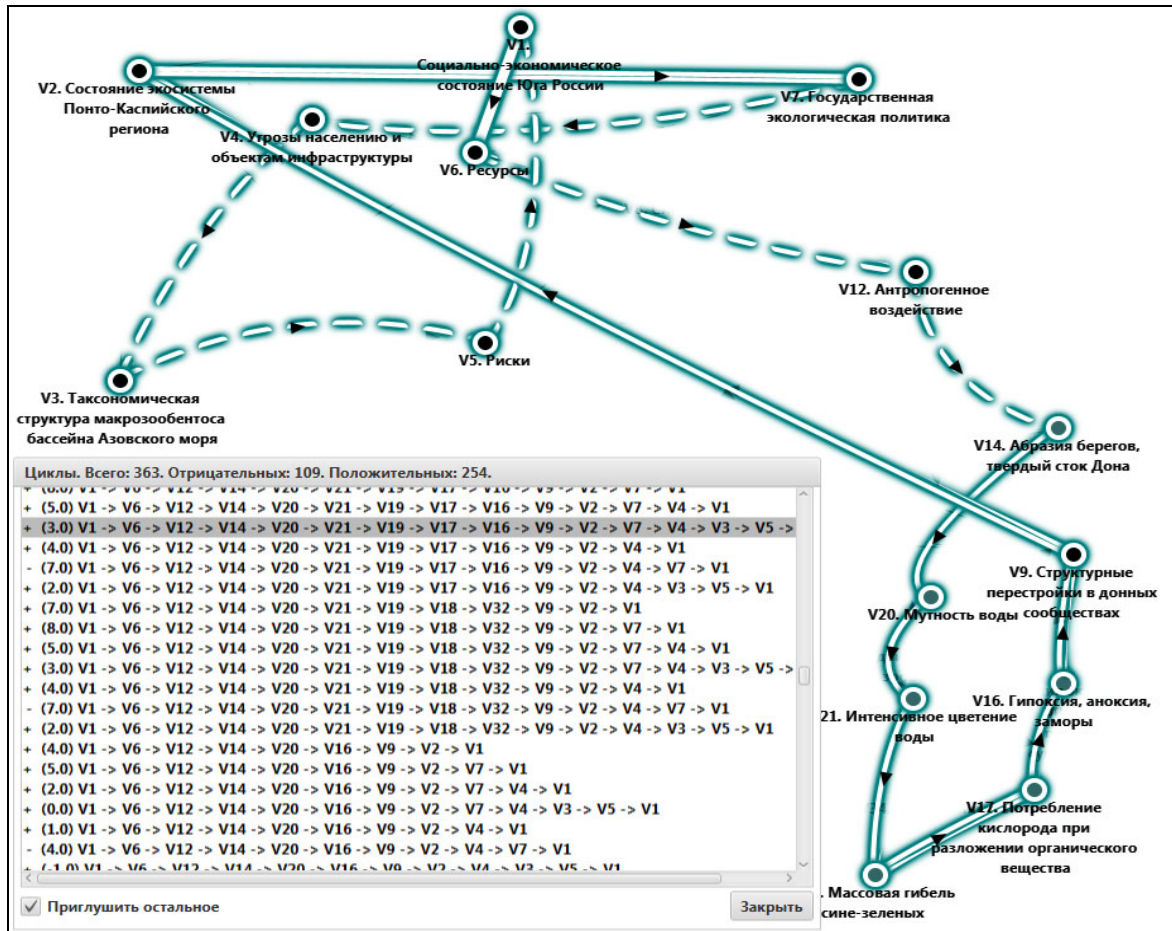


Рис. 2. Анализ циклов когнитивной модели I_{G12} двух уровней с выделением одного из положительных циклов модели

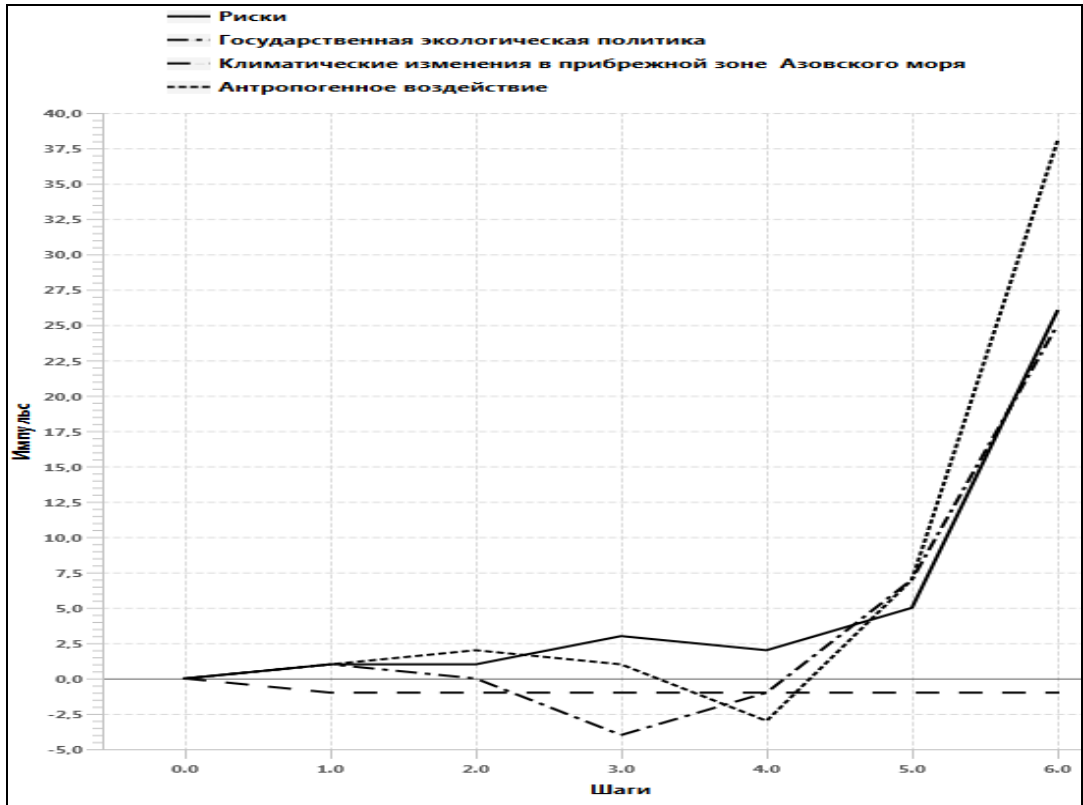
Рассмотрим один из возможных сценариев развития ситуаций на модели. Предположим, что ухудшаются климатические условия в Понто-Каспийском регионе, растут риски и антропогенная нагрузка, всему этому пытается противостоять государство, но особых изменений в его экологической политике еще не произошло; при импульсном моделировании возмущения вносятся в вершины $V5$, $V7$, $V10$ и $V12$.

Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице 1 и на рисунке 3. Количество шагов импульсного моделирования увеличивается до тех пор, пока явно не проявятся тенденции развития процессов в системе. В данном случае было выбрано 8 шагов моделирования. На рисунках 3 (а), (в), (с) изображены импульсные процессы в разных вершинах, графики построены по данным таблицы 1 с помощью CMLS.

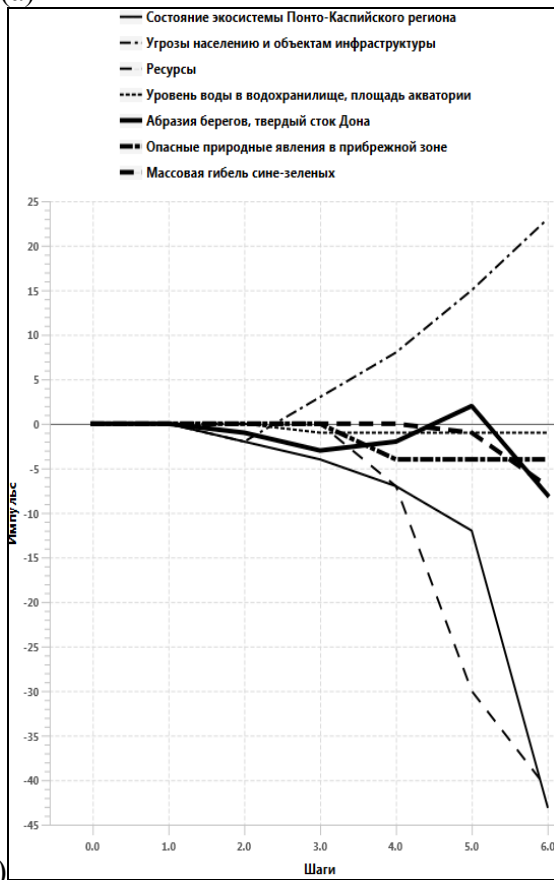
Таблица 1

Результаты импульсного моделирования на когнитивной карте I_{GI2} (фрагмент)

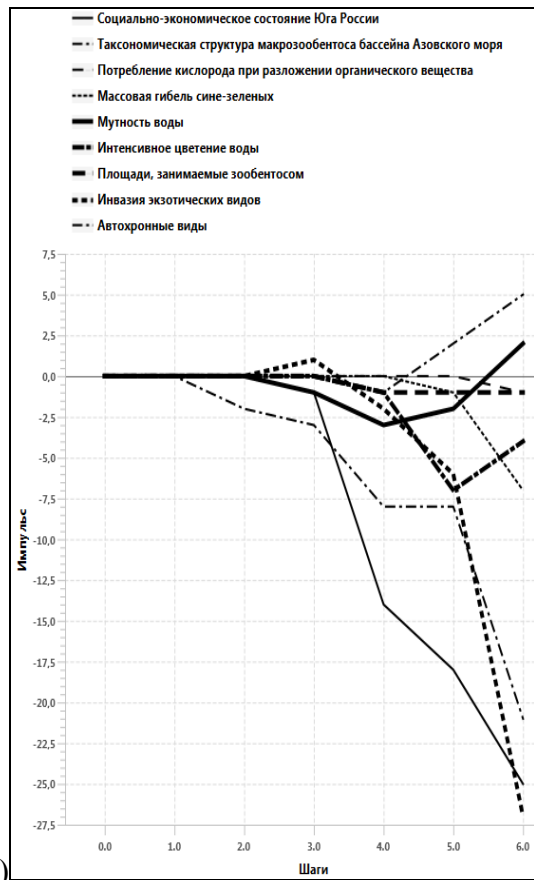
Шаг	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Вершина									
V1. Социально-экономическое состояние Юга России	0.0	0.0	0.0	-1.0	-14.0	-18.0	-25.0	-67.0	-250.0
V2. Состояние экосистемы Понто-Каспийского региона	0.0	0.0	-2.0	-4.0	-7.0	-12.0	-43.0	-95.0	-169.0
V3. Таксономическая структура макрозообентоса бассейна Азовского моря	0.0	0.0	-2.0	-3.0	-8.0	-8.0	-21.0	-70.0	-169.0
V4. Угрозы населению и объектам инфраструктуры	0.0	0.0	-2.0	3.0	8.0	15.0	23.0	62.0	178.0
V5. Риски	0.0	1.0	1.0	3.0	2.0	5.0	26.0	83.0	141.0
V6. Ресурсы	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.0	-30.0	-41.0	-69.0	-199.0
V7. Государственная экологическая политика	0.0	1.0	0.0	-4.0	-1.0	7.0	25.0	-10.0	-6.0
V8. Система мониторинга	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-8.0	-31.0	-42.0	-70.0
V9. Структурные перестройки в донных сообществах	0.0	0.0	1.0	-2.0	-6.0	-27.0	-35.0	-31.0	-97.0
V10. Климатические изменения в прибрежной зоне Азовского моря	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V11. Гидрометеорологические явления	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V12. Антропогенное воздействие	0.0	1.0	2.0	1.0	-3.0	7.0	38.0	67.0	60.0
V13. Уровень воды в водохранилище, площадь акватории	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V14. Абразия берегов, твердый сток Дона	0.0	0.0	-1.0	-3.0	-2.0	2.0	-8.0	-39.0	-68.0
V15. Опасные природные явления в прибрежной зоне	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
V16. Гипоксия, аноксия, заморы	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.0	-4.0	-3.0	0.0	-16.0
V17. Потребление кислорода при разложении органического вещества	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-7.0	-4.0
V18. Оседание на дно отмерших клеток фитопланктона	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-7.0	-4.0
V19. Массовая гибель сине-зеленых	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-7.0	-4.0	-2.0
V20. Мутность воды	0.0	0.0	0.0	-1.0	-3.0	-2.0	2.0	-8.0	-39.0
V21. Интенсивное цветение воды	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-7.0	-4.0	-2.0	-18.0
V22. Поступление в водоем дополнительного органического вещества (вторичное загрязнение)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	-6.0	-3.0
V23. Гидробионты, оставшиеся на берегу	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V24. Площади, занимаемые зообентосом	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V25. Наиболее продуктивные супралиторальные сообщества	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V26. Малоподвижные крупные особи зообентоса	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0
V27. Метеорологические условия	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V28. Гидрохимические условия водоемов	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V29. Гидробиологические условия	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V30. Гидрологические условия	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
V31. Площади мелководий	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V32. Заиление дна	0.0	0.0	0.0	-1.0	-3.0	-2.0	2.0	-9.0	-46.0
V33. Инвазия экзотических видов	0.0	0.0	0.0	1.0	-2.0	-6.0	-27.0	-35.0	-31.0
V34. Автохронные виды	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	2.0	5.0	26.0	34.0



(a)



(b)



(c)

Рис. 3. Графики импульсных процессов при внесении возмущений в вершины V5, V7, V10 и V12

Как видно по результатам моделирования, если в Понто-Каспийском регионе будут происходить негативные климатические изменения и возрастет антропогенная нагрузка, то потребуются усиление государственной экологической политики, существующих усилий может оказаться недостаточно. По такому сценарию может ухудшаться состояние водной экосистемы и социально-экономическое состояние Юга России.

Заключение

Таким образом, применение инструментария когнитивного моделирования сложной системы к исследованию Понто-Каспийского региона дает возможность отображать структуру и поведение водной экосистемы этого региона, предвидеть возможные тенденции развития ситуаций в ней с разным уровнем детализации. В данной работе были рассмотрены лишь верхние уровни иерархической когнитивной модели и в дальнейших исследованиях требуется детализация и переход от качественной к количественной когнитивной модели.

Благодарности

Исследование поддержано грантом РФФИ № 18-29-22093.

Список литературы

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем. М.: Высш. шк., 2006. 511 с.
2. 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.
3. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.Н. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов н/Дону: Изд-во РГУ, 2006. 322 с.
4. Горелова Г.В. О когнитивном моделировании сложных систем, инструментарий исследования // «Известия ТТИ ЮФУ». 2012. Вып.6. / В тр. I Всерос. научн. конф. «Современные проблемы математического моделирования, супервычислений и информационных технологий (СПМиИТ2012). Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. С. 236–240.
5. Ginis L.A. Gorelova G.V., Kolodenkova A.E. Cognitive and simulation modeling of development of regional economy system // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. Vol 6, No 5S, pp. 97–103. www.sciencedirect.com
6. Gorelova G.V. Cognitive modeling as the instrument in course of knowledge of large system // International Journal “Information Theories and Applications”. Bulgaria, 2011. Vol. 18. N 2. P. 172–182.
7. Горелова Г.В., Масленникова А.В. Имитационное моделирование на основе когнитивной методологии и системной динамики, анализ системы «Юг России» // Научно-практ. конф. «Системный анализ в экономике»: материалы. М.: ЦЭМИ РАН, 2012. С. 33–45.
8. Горелова Г.В., Мельник Э.В. Когнитивные модули интеллектуальной поддержки решений в информационных управляющих системах // Научно-практ. конф. «Системный анализ в экономике»: сб. материалов. М.: ЦЭМИ РАН, 2010. С. 45–49.
9. Инновационное развитие социо-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования. Коллективная монография / Под ред. Г.В. Гореловой, Н.Д. Панкратовой. Киев: Изд-во «Наукова Думка», 2015. 464 с.
10. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учеб. пособие. М: Изд-во МГУ, 2011. 304 с.

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*¹,

д-р техн. наук, заведующий лабораторией;

*Орда-Жигулина Марина Владимировна*²,

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

*Орда-Жигулина Дина Владимировна*³,

канд. техн. наук, науч. сотр.

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

^{1, 2, 3} «Федеральный исследовательский центр

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

¹ evm17@mail.ru, ² 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