

## Обзор методов моделирования сложных социально-экономических систем на основе агентного подхода

А. А. Айгумов<sup>✉1</sup>, И. А. Пшенокова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук  
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

<sup>2</sup>Институт информатики и проблем регионального управления –  
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук  
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

**Аннотация.** Социально-экономические процессы и явления представляют собой сложные системы. В связи с этим рациональное и оптимальное управление ими ставит ряд серьезных задач. Поэтому изучение теорий, методов и приемов эффективного моделирования сложности и динамики социально-экономических систем представляет собой весьма перспективное направление исследований. В настоящее время не существует универсальных методов и средств для моделирования социально-экономических систем. Известные способы моделирования социально-экономических систем охватывают различные подходы, включая системную динамику, байесовские сети, агентные модели, динамические стохастические модели равновесия и др. В данной работе приводится обзор последних достижений в области агентного моделирования сложных социально-экономических систем.

**Ключевые слова:** социально-экономические системы, агентное моделирование, мультиагентные системы, сложные системы

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Gain A.K., Hossain Md.S., Benson D., Baldassarre G.D. et al. Social-ecological system approaches for water resources management. *International journal of sustainable development & world ecology*. 2021. Vol. 28. No. 2. Pp. 109–124. DOI: 10.1080/13504509.2020.1780647
2. Lippe M., Bithell M., Gotts N. et al. Using agent-based modelling to simulate social-ecological systems across scales. *GeoInformatica*. 2019. Vol. 23. No. 2. Pp. 269–298. DOI: 10.1007/s10707-018-00337-8
3. Elsayah S., Filatova T., Jakeman A.J. et al. Eight grand challenges in socio-environmental systems modeling. *Socio-Environmental Systems Modelling*. 2020. Vol. 2. P. 16226.
4. Lloret-Climent M., Nescolarde-Selva J.-A., Mora-Mora H. et al. Modeling complex social systems: A new network point of view in labour markets. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 92110. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994622
5. Kumar S., Banerji H. Bayesian network modeling for economic-socio-cultural sustainability of neighborhood-level urban communities: Reflections from Kolkata, an Indian megacity. *Sustainable cities and society*. 2022. Vol. 78. P. 103632.
6. Adams K.J., Macleod Ch.A.J., Metzger M.J. et al. Developing a Bayesian network model for understanding river catchment resilience under future change scenarios. *Hydrology and earth system sciences*. 2023. Vol. 27. No. 11. Pp. 2205–2225. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-27-2205-2023>

7. Taillandier F., Maiolo P.D., Taillandier P. et al. An agent-based model to simulate inhabitants' behavior during a flood event. *International journal of disaster risk reduction*. 2021. Vol. 64. P. 102503. DOI: DOI:10.1016/j.ijdr.2021.102503

8. Орлов К. В., Жузбаев А. М., Мекенбаева К. Б. и др. Обзорная статья по динамическим стохастическим моделям общего равновесия (DSGE). *Review on DSGE models. Economic Review (National Bank of Kazakhstan)*. 2020. № 4. С. 4–40.

Orlov K.V., Zhuzbayev A.M., Mekenbayeva K.B. et al. Review article on dynamic stochastic general equilibrium models (DSGE). *Review on DSGE models. Economic Review (National Bank of Kazakhstan)*. 2020. No. 4. Pp. 4–40. (In Russian)

9. Zellner M., Massey D., Rozhkov A., Murphy J.T. Exploring the barriers to and potential for sustainable transitions in urban–rural systems through participatory causal loop diagramming of the food–energy–water nexus. *Land*. 2023. Vol. 12. P. 551. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12030551>

10. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход: 2-е издание. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.

Russell S., Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod* [Artificial Intelligence. A Modern Approach]: 2nd edition. Moscow: Vilyams, 2006. 1408 p. (In Russian)

11. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

Tarasov V.B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nykh organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow: Editorial URSS, 2002. 352 p. (In Russian)

12. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems second edition. Wiley, 2009. 484 p.

13. Multiagent Systems: A Modern approach to distributed artificial intelligence. Ed. by G. Weiss. The MIT Press, 1999. 643 p.

14. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2008. 504 p.

15. Lesser V.R., Erman L.D. Distributed interpretation: a model and experiment. *IEEE Trans. Computers*, 1980. Vol. 29(12). Pp. 1144–1163.

16. Xewitt C. Viewing control structures as patterns of message passing. *Artificial Intelligence*. 1977. Vol. 8. No. 3. Pp. 323–364.

17. Lenat D. BEINGS: Knowledge as interacting experts. Proc. of the 1975 IJCAI Conference, 1975. Pp. 126–133.

18. Smith R.G. The contract net protocol: high level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transactions on Computers*. 1980. Vol. 29. No. 12. Pp. 1104–1113.

19. Mathieu P., Corchado J.M., González-Briones A., De la Prieta F. Advancements in the practical applications of agents, multi-agent systems and simulating complex systems. *Systems*. 2023. Vol. 11. P. 525. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11100525>

20. Рамазанов Р. Агентное моделирование в исследовании и прогнозировании социально-экономических систем и процессов // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 1. С. 19–32. DOI: 10.31857/S042473880010550-4

Ramazanov R. Agent-based modeling in the study and forecasting of socio-economic systems and processes. *Ekonomika i matematicheskiye metody* [Economics and Mathematical Methods]. 2021. Vol. 57. No. 1. Pp. 19–32. DOI: 10.31857/S042473880010550-4. (In Russian)

21. Brugière A., Nguyen-Ngoc D., Drogoul A. Handling multiple levels in agent-based models of complex socio-environmental systems: A comprehensive review. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 2022. Vol. 8. P. 1020353.

22. Guzmán Rincón A., Carrillo Barbosa R.L., Segovia-García N., Africano Franco D.R. Disinformation in social networks and bots: Simulated scenarios of Its spread from system dynamics. *Systems*. 2022. Vol. 10. P. 34. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems10020034>

23. Ye Y., Zhang R., Zhao Y. et al. A novel public opinion polarization model based on BA network. *Systems*. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 46.

24. Akopov A.S. Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the use of machine learning. *Business Informatics*. 2023. Vol. 17. No. 2. Pp. 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19

25. Koponen I.T. Agent-based modeling of consensus group formation with complex webs of beliefs. *Systems*. 2022. Vol. 10. P. 212. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems10060212>

26. Бекларян Г. Л. Имитационное моделирование многоагентных региональных социально-экономических систем: методы и примеры // Вестник ЦЭМИ РАН. 2023. Т. 6. № 4. DOI: 10.33276/S265838870029157-5

Beklaryan G.L. Simulation modeling of multi-agent regional socio-economic systems: methods and examples. *Vestnik TSEMI RAN* [Bulletin of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences]. 2023. Vol. 6. No. 4. DOI: 10.33276/ S265838870029157-5. (In Russian)

27. Alfer'ev D.A. et al. Modeling of socio-economic processes – agent systems. Understanding the digital transformation of socio-economic-technological systems: dedicated to the 120<sup>th</sup> anniversary of economic education at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 123–149.

28. Giunta A., Giunta G., Marino D. et al. Market behavior and evolution of wealth distribution: a simulation model based on artificial agents. *Mathematical and computational applications*. 2021. Vol. 26. No. 1. P. 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/mca26010012>

29. Dwarakanath K., Vyetenko S., Tavallali P., Balch T. ABIDES-Economist: Agent-based simulation of economic systems with learning agents. *arXiv preprint arXiv:2402.09563*. 2024.

30. Colasanti R., MacLachlan A., Silverman E., Mccann M. Using agent-based models to address non-communicable diseases: a review of models and their application to policy. *The Lancet*. 2022. Vol. 400. P. S33. DOI: 10.1016/S0140-6736(22)02243-7

31. Boyd J., Wilson R., Elsenbroich C. et al. Agent-based modelling of health inequalities following the complexity turn in public health: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*. 2022. Vol. 19. No. 24. P. 16807. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416807>

32. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rossoshanskaya E.A. et al. Problems of standardizing agent-based model description and possible ways to solve them. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023. Vol. 93. No. 4. Pp. 239–248.

33. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F. et al. Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*. 2021. Vol. 1. No. 7. P. 99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00103-3>

34. Giupponi C., Ausseil A.-G., Balbi S. et al. Integrated modelling of social-ecological systems for climate change adaptation. *Socio-Environmental Systems Modelling*. 2022. Vol. 3. <https://dx.doi.org/10.18174/sesmo.18161>

35. Пшенокова И. А. Имитационное моделирование систем обволакивающего интеллекта на основе самоорганизующейся мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 3(83). С. 21–27. EDN: ХУКТВН

Pshenokova I.A. Simulation modeling of enveloping intelligence systems based on self-organizing multi-agent recursive cognitive architecture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 3(83). Pp. 21–27. EDN: ХУКТВН. (In Russian)

36. Назоев З. В., Назоева О. В. Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of symbols and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022, 150 p. (In Russian)

### **Информация об авторах**

**Айгулов Арслан Абдусаламович**, аспирант кафедры «Мультиагентные интеллектуальные робототехнические системы», Научно-образовательный центр Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

[arrrslan@mail.ru](mailto:arrrslan@mail.ru)

**Пшенокова Инна Ауесовна**, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

[pshenokova\\_inna@mail.ru](mailto:pshenokova_inna@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>, SPIN-код: 3535-2963