

Ислакаева Г.Р., Зулкарнай И.У.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

## КОГНИТИВНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ПО ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВА \*

### Аннотация

*В разработке вопросов оптимального размещения производительных сил, в которых задействовано большое количество факторов, необходимо использовать когнитивно-информационные технологии. В этой работе предлагается агент-ориентированное моделирование исследования проблем оптимального размещения системообразующих вузов по территории страны. В модели изначально университеты представлены как некие равные друг другу единицы, агенты, размещенные по территории страны на равном расстоянии друг от друга. Агентам предоставляется возможность, двигаясь по территории страны, самим найти точки, в которых они максимизируют свою функцию системообразования. В ходе эмуляции, в городах страны собирается различное число агентов-университетов. Это число показывает, насколько размещение реального университета в данном городе целесообразно с точки зрения выполнения функции системообразования, возложенной на Федеральные университеты, Национальные исследовательские университеты и опорные университеты. Такой анализ, проведенный с помощью имитационной модели, позволяет принимать обоснованные решения в проведении территориальной политики из центра. Модель реализована в среде агент-ориентированного (мультиагентного) моделирования.*

### Ключевые слова

*Оптимизация, агент-ориентированное моделирование, когнитивно-информационная технология, мультиагентное моделирование, имитационное моделирование, пространственная экономика.*

Islakaeva G.R., Zulkarnay I.U.

Bashkir State University, Ufa, Russia

## COGNITIVE-INFORMATIONAL TECHNOLOGY OF THE AGENT-ORIENTED MODELING OF THE OPTIMAL PROVISION OF EDUCATIONAL SERVICES ON THE TERRITORY OF THE STATE

### Abstract

*In the development of questions of the optimal allocation of productive forces, in which a large number of factors are involved, it is necessary to use cognitive-information technologies. In this paper, we offer agent-oriented modeling of the study of problems of the optimal allocation of system-forming universities across the country. In the model, universities are initially represented as certain equal units, agents located on the territory of the country at equal distance from each other. Agents are given the opportunity moving through the territory of the country to find the points in which they maximize their function of system formation. In the course of emulation, a different number of university agents gather in the cities of the country. This number shows how much important the location of a university is in the given city. Such an analysis, carried out with the help of a simulation model, makes it possible to make informed decisions in carrying out the territorial policy from the center. The model is implemented in an agent-based (multi-agent) simulation environment.*

\* Труды II Международной научной конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии» (Convergent'2017), Москва, 24-26 ноября, 2017

Proceedings of the II International scientific conference "Convergent cognitive information technologies" (Convergent'2017), Moscow, Russia, November 24-26, 2017

## Keywords

*Optimization, agent-based modeling, cognitive-information technology, multi-agent modeling, simulation modeling, spatial economics.*

## Введение

Проблемы оптимизации относятся, пожалуй, к одним из сложнейших проблем, в связи, как минимум, двух обстоятельств. Во-первых, всегда дискуссионным является вопрос о том, какой выбрать критерий оптимизации. В этой связи, часто возникает несколько критериев оптимизации и возникает задача выбора между ними или комбинации разных критериев. Во-вторых, возникает проблема решения следующей задачи: как найти оптимальное решение, когда критерий оптимизации уже определен. Эта проблема усложняется как множеством факторов, которые надо учесть, так и тем, что процесс поиска оптимального решения почти каждый раз оказывается оригинальным для каждого критерия оптимизации.

В числе этих проблем находится проблема оптимального размещения производительных сил по территории страны, изучаемая теорией пространственной экономики [1]. Эта теория известна в России также под названием теория региональной экономики, имея ввиду проведение центральными властями некой политики по размещению заводов, населения, рудников, электростанций по территории страны, видным представителем которой был А.Гранберг [2]. В связи с необходимостью централизованного управления, отсутствия рыночных отношений в стране, в середине прошлого века было особенно важно развивать математические методы анализа различных схем размещения производительных сил по стране и поиска оптимальных решений. Это определило высокий уровень развития методов исследования задачи оптимального размещения производительных сил в России. Однако новые задачи требуют развития более продвинутых когнитивных технологий.

Система высшего образования России и системы высшего образования субъектов федерации также являются частью производительных сил, т.к. определяют инновационное развитие регионов и страны в целом [3]. В последнее десятилетие Министерство образования и науки РФ, в русле общей государственной программы, направленной на повышение уровня российского высшего образования до уровня мирового, осуществляет программу развития сети Федеральных университетов (ФУ) и Национальных исследовательских университетов (НИУ) [4].

Согласно «Концепции создания и государственной поддержки развития федеральных университетов» в основе создания ФУ в регионах страны лежит идея «выдвижения доступного качественного образования в отдаленные территории путем создания и развития в федеральных округах крупных инновационных научно-образовательных комплексов – федеральных университетов» [4]. В этом же документе указано, что «Стратегическая миссия федерального университета – формирование и развитие конкурентоспособного человеческого капитала в федеральных округах» и «Федеральный университет реализует эту миссию, организуя и координируя в федеральном округе работы по сбалансированному обеспечению крупных программ социально-экономического развития территорий и регионов».

Из этих положений, определяющих цель создания вузов с новыми статусами вытекает, что ФУ должны играть системообразующую роль в региональной системе вузов, причем системообразующая функция должна охватывать весь Федеральный округ. Таким образом, в контексте региональной политики федерального центра по размещению производительных сил возникает частная задача применительно к области образования: как размещать системообразующие университеты по территории страны? Какой должен быть критерий оптимального размещения ФУ и НИУ по территории страны с точки зрения выполнения их основных задач?

В настоящее время, прогресс в развитии компьютерной техники и программного обеспечения открывает новые возможности в развитии когнитивно-информационных технологий решения этих вопросов [5-7]. В русле этих технологий нами предлагается мультиагентное компьютерное моделирование для решения проблем оптимизации размещения системообразующих университетов по территории страны.

## Мультиагентное моделирование

В качестве когнитивной технологии решения задачи оптимизации размещения системообразующих вузов по территории страны мы предлагаем мультиагентное компьютерное моделирование (multiagent modeling). Этот вид имитационного моделирования также известен под названием агент-ориентированное моделирование (agent-based modelling). Название связано с тем, что объекты изучаемого процесса представляются в виде виртуальных, компьютерно реализованных агентов, которые взаимодействуют в виртуальной среде. Каждый агент имеет свою модель поведения и может

обучаться, как и реальные люди, в ходе взаимодействия. В идеале, теоретически, действуя этим путем, можно смоделировать поведение населения отдельной страны и даже мира [8, 9].

Данное направление имитационного моделирования стало возможным для развития после того, когда компьютерное развитие достигло определенного и высокого уровня, когда стало возможно программировать поведение миллионов агентов со сложными моделями поведения. В России это направление развивает Лаборатория искусственных обществ Центрального экономико-математического института РАН [10], а также другие специалисты [11].

### Оптимизационная задача и описание мультиагентной модели

Обсудим критерий оптимизации. ФУ и НИУ рассматриваются в качестве многочисленных научно-образовательных «точек роста» по территории страны. Будем считать, что они должны оказывать системообразующее влияние на вузы региона (субъекта федерации и даже на группу субъектов федерации), то есть не только сами поднимать качество образования до мирового уровня и развивать научные исследования, но и оказывать положительное воздействие на другие вузы.



Рис.1. Расположение Федеральных университетов (ФУ) и Национальных исследовательских университетов (НИУ) на территории Приволжского федерального округа и в столицах прилегающих регионов Уральского федерального округа (кругами показаны возможные области распространения системообразующей функции)

В этом плане возникает внешний эффект, распространяющийся в определенном пространстве. Очевидно, необходимо расположить системообразующие вузы по территории страны таким образом, чтобы максимизировать суммарный системообразующий эффект. Если это положение принять за

критерий оптимизации, то возникает вопрос, как расположить системообразующие университеты по территории страны, если ресурсы на них ограничены, а задачей является максимизация системообразующего эффекта?

Рассмотрим этот вопрос на примере расположения ФУ и НИУ на территории Приволжского федерального округа и в столицах прилегающих к нему регионов Уральского федерального округа (рис.1). Видно, что в одних регионах, конкретно в столицах этих регионов расположено несколько системообразующих университетов, а в других – мало. Так, в Республике Татарстан находится один ФУ и два НИУ, причем все они расположены не равномерно по территории субъекта федерации, а в столице – городе Казани. При этом в соседнем регионе, Республике Башкортостан, не находится ни одного системообразующего университета, хотя этот регион больше по размерам и по населению Татарстана, и находится с ним на одном уровне по промышленному развитию. Если посмотреть на север и на восток от Республики Башкортостан, то там тоже находятся еще один ФУ в г.Екатеринбурге, два НИУ в г.Перми, один НИУ в г.Челябинске.

Можно предположить, что эти ФУ и НИУ выполняют системообразующую функцию не только для своих регионов, но и для Республики Башкортостан. Эту гипотезу можно протестировать на основе эмпирического анализа. Как показывают наши исследования, основанные на анализе образовательной миграции в и из Республики Башкортостан, тот факт, данный регион буквально окружен ФУ и НИУ, является одним из факторов оттока абитуриентов из Башкортостана в соседние регионы, ослабляя социальный и экономический его потенциалы.

Данное положение удивительно в свете того, что многие из 29 НИУ расположены в регионах, уступающих по многим количественным параметрам РБ, например, в Мордовии, все население которой (800 тыс. чел.) меньше населения Уфы, а территория более чем в пять раз меньше территории Башкортостана. В Якутии, население которой составляет менее одного миллиона человек, находится один ФУ.

Обозначим на карте на рис.1 кругами возможные области распространения системообразующей функции, исходя из того, что ее эффект распространяется концентрическими кругами. Радиус круга отражает различную интенсивность эффекта системообразования. Чем больше радиус, тем меньше эффект. Конечно, можно задать столь большие радиусы областей распространения функции, что соседствующие с Республикой Башкортостан ФУ и НИУ покроют всю ее территорию своим влиянием. Однако эффективность выполнения функции системообразования будет маленькой при таких больших радиусах областей их действия.

В данном картографическом анализе можно получить очевидные выводы о целесообразном размещении ФУ и НИУ с точки зрения максимизации системообразующей функции. Однако, эта задача становится сложной, если взять всю страну, учитывать плотность заселения каждого района в каждом субъекте, объекты, на которые эта функция должна действовать. Также усложняющим фактором будет допущение расположения ФУ и НИУ не в столицах регионов, а в любой точке страны, исходя из требований к «точкам роста».

### **Описание мультиагентной модели**

Решение такой задачи простым перебором возможных ситуаций было бы непродуктивной тратой времени и вряд ли приблизило бы нас к решению поставленной задачи. Поэтому мы развиваем когнитивную технологию ее решения путем построения агент-ориентированной компьютерной модели.

Разрабатываемая агент-ориентированная модель, основа которой положена в [7], включает два вида агентов: агенты-университеты и агенты-поселения. Последние характеризуются численностью населения, качеством населения и географическими координатами. Численность населения и качество населения позволяют определить технологический потенциал поселения, под которым мы будем понимать его потребность в знаниях и технологиях.

Качество населения в смысле его технологического уровня индивидуальное для каждого поселения в общем случае. В этой модели мы будем считать его единым для всех поселений. Также будем считать, что чем меньше поселение, тем менее наукоемкие производства в них и они менее нуждаются в инновациях.

Кроме того, поселение характеризуется фактическими географическими координатами на карте Российской Федерации. Также есть границы страны, за пределы которой системообразующая функция не должна распространяться.

Агенты-университеты могут совершенно свободно перемещаться по территории страны и в модели мы предоставляем им сами найти географическое место, где они максимизируют свою системообразующую функцию. Исходно, агенты-университеты будут располагаться на равном расстоянии друг от друга, т.е. в узлах сетки, покрывающей страну, или группу регионов (рис.1).

### **Имитационный эксперимент**

Агент-ориентированная модель реализована в приложении NetLogo 6.0, интерфейс представлен на рис.2. В данной статье приведены эксперименты, проделанные на примере регионов Приволжского федерального округа (Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Оренбургская область, Самарская область, Кировская область, Пермский край, Нижегородская область, Республика Мордовия, Пензенская область, Саратовская область, Ульяновская область, Республика Марий-Эл, Удмуртская республика), а также прилегающим к ним с востока областям Уральского федерального округа (Свердловская область, Челябинская область).

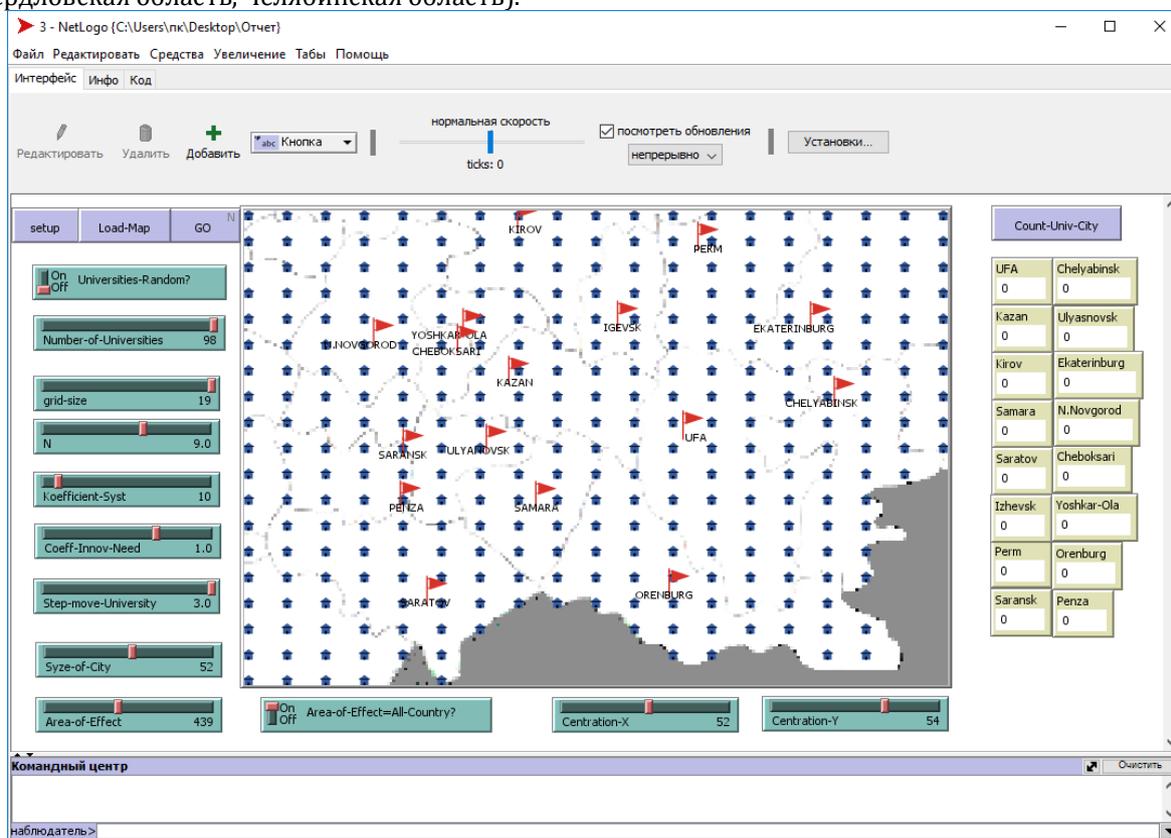


Рис. 2. Расположение университетов в узлах сетки с меньшим шагом (больше университетов)

На рис.2 столицы этих регионов обозначены красными флажками, показаны границы регионов, а внизу – граница Российской Федерации с Республикой Казахстан, территория которой окрашена в серый цвет. Порядок работы с моделью следующий:

1) После нажатия кнопки Setup на экране появляются города (обозначены красным флажком), в соответствии с их географическими координатами, а также располагаются университеты (обозначены домиком). Возможны 2 варианта расположения университетов: если включен переключатель Universities-Random? (в положении On), то университеты в количестве, определяемом движком Number-of-Universities, будут расположены в случайном порядке на экране. Если этот переключатель выключен (Off), то университеты будут расположены в узлах сетки с равным шагом, этот вариант показан на рис.2. Шаг сетки и соответственно количество университетов определяются движком grid-size.

2) Движок N позволяет масштабировать расположение городов на экране, отражая на экране большие или меньшие расстояния, как бы приближая и удаляя карту городов. Движки Centration-X, Centration-Y позволяют перемещать всю группу городов влево-вправо и вверх-вниз, что необходимо с технологическими особенностями программы.

3) Движки Coefficient-Syst и Coeff-Innov-Need определяют параметры распространения системообразующей функции в пространстве. Эффект этой функции падает экспоненциально с расстоянием, и эти коэффициенты определяют эту функцию.

4) Движок Step-move-university определяет шаг движения университета вверх-вниз, вправо-влево в ходе поиска им места максимизации функции системообразования. Этот движок позволяет исследовать, насколько устойчив результат к шагу поиска.

5) Движок Syze-of-City определяет размер города, в пределах которого будет считаться, что университет находится в городе.

6) Движок Area-of-Effect определяет размер области, в пределах которой агент-университет ищет точку максимизации функции системообразования.



столиц регионов. Это будет видно будет по остановке их движения на экране.

9) Далее надо нажать кнопку Count-Univ-City, в результате чего в счетчиках в правой части общего экрана для каждого города исследуемого региона появится число университетов, которые нашли в этом городе точку максимизации функции системообразования (рис.3).

В целях решения этой задачи для всей Российской Федерации или для ее части, необходимо работать с полной картой страны, что требует загрузки в модель данных о населении и экономическом потенциале каждого поселения, что является уже большими данными (big data). На рис.4 показана загрузка в модель европейской части Российской Федерации и прилегающих к ней стран.

## Выводы

Проведенные эмуляционные эксперименты позволяют делать определенные теоретические выводы. Так, на рис.3 видно, что столицы регионов привлекли разное число университетов, которые нашли в них точку максимизации их функции полезности. Число университетов говорит о значимости города как точки системообразования, если мы рассматриваем каждый университет в этой модели как некую элементарную единицу, выполняющую функцию системообразования. При задании реальной плотности районов и населения мелких городов, учета их экономического и образовательного потенциала, университеты будут располагаться вне столиц.

Таким образом, данный подход является эффективным когнитивно-информационным инструментом изучения вопроса об оптимальном размещении вузов по территории страны. Это может помочь в государственном управлении, при совершенствовании политики федерального центра по развитию системы услуг высшего образования по территории страны.

## Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-46-020762а.

The reported study was funded by RFBR according to the research project №17-46-020762a.

## Литература

1. Минакир П.А. Экономический анализ и измерения в пространстве // *Пространственная экономика*. – 2014. – № 1. – С. 12-39.
2. Гранберг А.Г. Программа фундаментальных исследований пространственного развития России и роль в ней северо-западного региона // *Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития*. – 2009. – № 2-3 (39-40). – С. 5-11.
3. Шестакович А.Г., Зулькарнай И.У. Инновационный центр «Сколково» как проект по трансплантации успешных институтов «Силиконовой Долины» // *Инновационная деятельность*. – 2014. – № 3 (30). – С. 17-27.
4. Концепция создания и государственной поддержки развития федеральных университетов. Сайт Министерства образования и науки Российской Федерации [электронный ресурс] // URL: <http://xn--80abucjiibhv9a.xn--p1ai/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/2005> (дата обращения 10.10.2017)
5. Прокопчук Ю.А. Реализация когнитивных и метакогнитивных технологий в информационных системах, системах управления и образовании // *Вестник ХНТУ*. – 2012. – № 1(44). – С. 27-39.
6. Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А., Морозова Е.И. Совершенствование инновационного развития региона на основе использования когнитивных технологий // URL: <https://creativeconomy.ru/lib/34996>
7. Маслобоев А.В. Методы и когнитивные технологии информационного обеспечения управления рискоустойчивым региональным развитием // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2013. – № 2 (84). – с. 167-169.
8. Луман Н. (1999) «Теория общества», в сб. *Теория общества*. / М. КАНОН-пресс Ц. – с. 196-235.
9. Луман Н. (2005) «Эволюция» Пер. с немецкого. М.: ЛОГОС. – 256 стр.
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика. – 2013. – 295 с.
11. Асадуллина А.В. Агент-ориентированная модель вертикальной конкуренции в бюджетной системе // *Искусственные общества*. – 2014. – Т. 9. – № 1-4. – С. 5-13.
12. Ислакаева Г.Р. Инструментарий моделирования оптимального размещения вузов по территории страны // *Доклады Башкирского университета*. – 2016. – №3. – С 557-562.

## References

1. Minakir PA Economic Analysis and Measurement in Space // *Spatial Economics*. – 2014. – No. 1. – P. 12-39.
2. Granberg AG The program of fundamental research of spatial development of Russia and the role of the northwestern region in it // *The Economy of the North-West: Problems and Prospects of Development*. – 2009. – No. 2-3 (39-40). – P. 5-11.
3. Shestakovich AG, Zulkarnay I.U. Innovative center "Skolkovo" as a project for transplantation of successful institutions of the "Silicon Valley" // *Innovative activity*. – 2014. – No. 3 (30). – P. 17-27.
4. The concept of creation and state support for the development of federal universities. Website of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation [electronic resource] // URL: <http://xn--80abucjiibhv9a.xn--p1ai/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/2005> (trading date 10/10/2017)
5. Prokopchuk Yu.A. Realization of cognitive and metacognitive technologies in information systems, control systems and education // *Vestnik KHNTU*. – 2012. – No. 1 (44). – P. 27-39.
6. Pogonyshch VA, Pogonyshcheva DA, Morozova EI Perfection of innovative development of the region on the basis of using cognitive technologies // URL: <https://creativeconomy.ru/lib/34996>

7. Masloboev A.V. Methods and cognitive technologies of information support of risk-based regional development management // Scientific and Technical Herald of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2013. – No. 2 (84). – from. 167-169.
8. Luman N. (1999) "The theory of society", in the collection. The theory of society. / M. CANON-press C. – p. 196-235.
9. Luhmann N. Evolution. М.: LOGO. – 2005. – 256 pages.
10. Makarov VL, Bakhtizin A.R. Social modeling is a new computer breakthrough (agent-oriented models). Moscow: Economics. – 2013. – 295 p.
11. Asadullina A.V. Agent-oriented model of vertical competition in the budget system // Artificial societies. – 2014. – Т. 9. – № 1-4. – P. 5-13.
12. Islakaeva G.R. Instrumentation of modeling the optimal location of universities across the country // Reports of the Bashkir University. – 2016. – № 3. – Since 557-562.

**Об авторах:**

**Ислакаева Гузель Разимовна**, кандидат экономических наук, заместитель заведующего лабораторией исследований проблем социально-экономического развития регионов, Башкирский государственный университет, [islakaeva@list.ru](mailto:islakaeva@list.ru)

**Зулькарнай Илдар Узбекович**, доктор экономических наук, заведующий лабораторией исследований проблем социально-экономического развития регионов, Башкирский государственный университет, [zulkar@mail.ru](mailto:zulkar@mail.ru)

**Note on the authors:**

**Islakaeva Guzel R.**, PhD, deputy of head of the laboratory of research of problems of social and economic development of the regions, Bashkir State University, [islakaeva@list.ru](mailto:islakaeva@list.ru)

**Zulkarnay Ildar U.**, Doctor of economics, head of the laboratory of research of problems of social and economic development of the regions, Bashkir State University, [zulkar@mail.ru](mailto:zulkar@mail.ru)