



**Artificial societies. 2013-2020**

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

All right reserved

Issue 4 Volume 14. 2019

## **Simulation modeling in the study of the optimal placement of systemically important universities across the country**

**I. Zulkarnay**

*Ufa Federal Research Center RAS  
Russian Federation, Ufa*

### **Abstract**

The article is devoted to the description of the process and the results of a long study devoted to the problem of optimal placement of universities with special statuses (Federal University, National Research University) across the country, where the criterion of optimality is to maximize the system-forming effect on the space surrounding the university with a limited budget for the totality of such universities. The computer model for the calculations was implemented in the environment of the agent-oriented language NetLogo. The conclusions made in the article allow making adjustments to the award, or vice versa, of the removal of special statuses to universities when the possibility of a revision, originally envisaged, for example, for National Research Universities, comes.

**Keywords list (en):** agent-based modeling, regional economy, federal university, national research university, Netlogo

**Date of publication:** 19.12.2019

### **Acknowledgment:**

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

### **Citation link:**

Zulkarnay I. Simulation modeling in the study of the optimal placement of systemically important

universities across the country // Artificial societies. 2019. V. 14. Issue 4 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007884-1-1/> (circulation date: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007884-1

1 Современное государство, ориентируясь на опыт технологических лидеров мира, все больше внимания уделяет развитию университетов и технологических парков, создаваемых на их базе, как драйверов инновационного, технологического развития своих экономик. В этой связи различные страны, ставшие на путь догоняющего развития, создавали и создают новые университеты, новые технопарки, пытаются получить отечественные Стэнфорд, МПТ, Гарвард, Силиконовую долину [11]. В этот процесс включились, и успешно, наши соседи в постсоветском пространстве. Например, по классификации QS World University Rankings-2019 восемь казахстанских вузов попали в первую тысячу лучших университетов мира [14]. Это вузы, имеющие длительную историю развития, большие по размеру, в отличие от нового проекта Казахстана – Назарбаевского университета, созданного в 2009 году «с нуля». Перед ним ставится задача стать университетом действительно мирового уровня, наряду с лучшими британскими и американскими университетами. В этой связи на работу в нем привлекаются ученые со всего мира, преподавание ведется на английском языке и университет открыт для студентов со всего мира. На данный момент Назарбаевский университет отсутствует в мировых рейтингах, но это сознательная политика университета, который хочет индексироваться в таких рейтингах к 2030 году, когда планируется достичь высоких показателей научной и образовательной деятельности, по которым, собственно и оцениваются университеты [10].

2 В этот процесс включилась и Российская Федерация, поставив задачу вхождения российских университетов в сотню лучших вузов мира [13]. В этом проекте участвует 21 ведущий университет России, которые получают дополнительную к обычному финансированию помощь и стремятся повысить свои позиции в мировых рейтингах. С целью поднятия всего уровня российского образования и науки до мирового уровня, проводилась также программа создания Федеральных университетов (ФУ) и Национальных исследовательских университетов (НИУ). Перед ФУ Правительство ставило некую системообразующую функцию: осуществление оптимизации образовательных структур в территориях, окружающих эти университеты и проведение работы по укреплению своих связей и связей университетов региона с экономикой и социальной сферой этих же территорий, ограниченных федеральным округом [6]. В этой связи планировалось создать один ФУ в одном федеральном округе, но по факту было создано 10 ФУ, располагающихся в 8 федеральных округах. Это отчасти, видимо, связано с политическими факторами, не имеющими отношения к собственно системообразующей функции ФУ: например, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта расположен в Калининградской области, являющейся частью Северо-Западного федерального округа, но территориально отделенной от основной части РФ другими государствами.

3 Перед НИУ ставились формально несколько иные задачи: интеграция образовательного процесса с научными исследованиями [9]. По существу, НИУ также должны осуществлять системообразующую функцию, распространяя свое влияние на прилегающие территории, т.к. государство нуждается в интеграции образования и науки с целью технологического развития страны, т.е. необходима также интеграция образования и науки с экономикой регионов.

4 Идея вклада университетов в экономику особенно видна в концепции третьего вида специальных статусов – Опорного университета, перед которым ставится задача поддержки развития экономики региона, под которым подразумевается субъект федерации, а также задача обслуживания его рынка труда, с акцентом на инновационное качество развития [8].

5 В результате всех этих проектов развития системы высшего образования страны, было создано 10 ФУ, 29 НИУ и 33 Опорных университета. При этом, статус ФУ присваивался указом Президента РФ существующим университетам (точнее, университетам, получившимся в результате объединения существующих университетов), статус НИУ присваивался существующим университетам на основе конкурсного отбора, и статус «опорного университета» также присваивался существующим университетам на основе конкурсного отбора. Решение в каждом случае определялось активностью региональных властей, готовностью руководства университетов объединяться и вообще их активностью в участии в конкурсах. Как результат, распределение университетов со специальными статусами оказалось крайне неравномерным по стране, и эта неравномерность не отражает сложившуюся неравномерность распределения населения, промышленных мощностей по территории страны.

6 Таким образом, в [1] был сделан вывод, что в решении вопросов присвоения специальных статусов университетам отсутствует научное обоснование решений на базе принципов и методов пространственной экономики, называемой в нашей стране также региональной экономикой [7]. Надо сказать, что даже в советское время, когда региональная экономика была популярна среди экономистов и задача оптимального размещения производительных сил по территории страны ставилась как государственная задача, размещение вузов по стране, по показателю «количество студентов на 1000 жителей», оказалось очень неравномерным. Эта неравномерность оказалась больше для России, чем для США, как было показано в [5].

7 В этой связи перед государственным управлением остро стоит задача использования научно – обоснованных методов размещения не только вузов со специальными статусами, но и вообще, финансирования из федерального бюджета региональных систем образования. В [4] был предложен метод решения этой задачи методами имитационного моделирования на основе агент-ориентированного подхода. В основе метода лежат следующие факты и интуитивно очевидные идеи:

- 8 1. Университеты со специальными статусами должны оказывать системообразующее для региональных образовательных систем, а также инновационное, стимулирующее экономическое развитие регионов, влияние;
2. Это системообразующее влияние убывает по мере удаления объекта влияния от университета;
3. Сам объект влияния, с точки зрения того, что на него оказывается стимулирующее экономическое развитие влияние, можно измерить количеством населения поселения (города, поселка, населения муниципального района), объемом и качественным составом продукции предприятий;
4. Университеты со специальными статусами следует располагать в тех точках пространства, где они максимизируют функцию системообразующего эффекта.

9 Теоретически, университет может оказаться в «открытом поле», между многими населенными пунктами при определенном классе системообразующих функций. Проиллюстрируем такой случай на рис.1, на котором по оси абсцисс отмечены 2 города с одинаковым населением и экономическим потенциалом. Будем считать, что между ними и во всем окружающем пространстве нет других населенных пунктов. В этом случае системообразующий эффект может влиять только на эти 2 города. Будем также считать в этом примере, что функция системообразующего эффекта представляет собой монотонную вогнутую функцию, убывающую по мере увеличения расстояния между университетом и объектом системообразующего влияния.

10 На рис.1 представлены 4 графика убывания системообразующего эффекта: при

расположении университета в городе А, при расположении в городе В и при расположении университета между городами А и В, в точке С. При расположении в городе А величина системообразующего эффекта равна 10 единицам в самом городе А и 1 единице для удаленного объекта – города В, т.е. суммарный эффект равен 11. Симметрично, при расположении университета в городе В величина системообразующего эффекта равна 10 единицам в самом городе В и 1 единице для удаленного объекта – города А, т.е. суммарный эффект тоже равен 11. А при расположении университета в точке С, величина системообразующего эффекта на город А равна 7 единицам и также равна 7 единицам для объекта влияния – города В. Суммарный системообразующий эффект оказывается равным 14, что и показывает целесообразность размещения университета в точке С, между двумя городами, в «чистом поле».

11

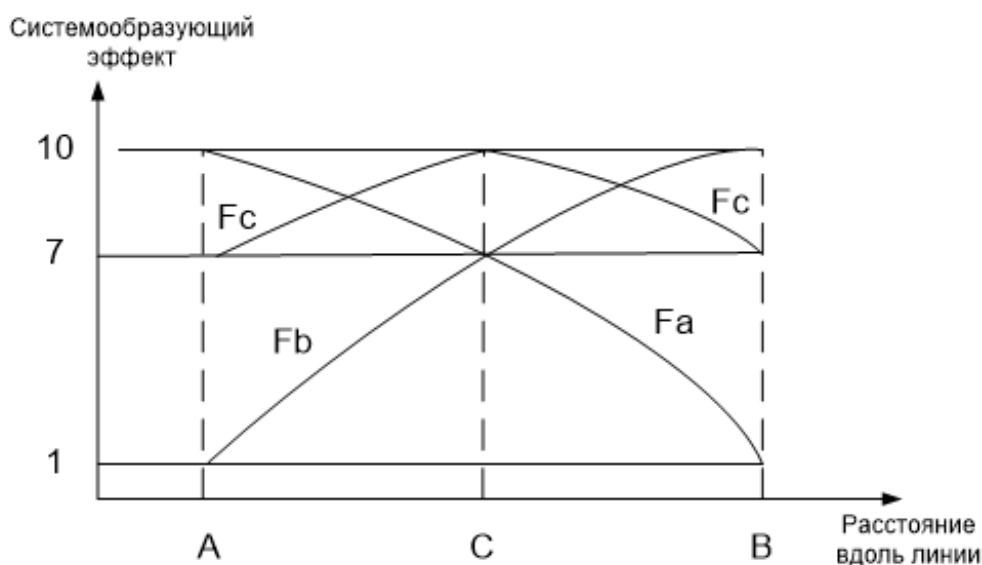


Рис.1. Убывание функции системообразующего эффекта  $F_a$ ,  $F_b$ ,  $F_c$  по мере удаления от места расположения университета в городах А, В, С, соответственно.

12 Очевидно, что целесообразность такого «промежуточного» расположения для двух городов может быть только вогнутых функций системообразующего эффекта. Для выпуклых функций университет максимизирует свой суммарный системообразующий эффект при расположении в одном из двух одинаковых городов А или Б. Однако, если между городами и вокруг них расположены другие поселения, то оптимальной точкой для размещения университета может опять оказаться «чистое поле» или одно из небольших поселений.

13 В [3] были рассмотрены различные возможные функции системообразующего влияния, на основе сравнительного анализа которых, в совокупности с другими предположениями экспертного характера, была выбрана степенная функция с отрицательной степенью, сводящаяся к гиперболической функции при степени, равной минус единица:

$$14 \quad F_Y(r) = F_Y^0 * \frac{A}{r^\beta} \quad (1)$$

15 Здесь  $F_Y(r)$  – функция системообразующего влияния университета;

16  $r$  – расстояние от точки расположения университета до поселения - объекта системообразующего влияния.

17 - показатель показательной функции, определяющий темп уменьшения

системообразующего влияния университета с увеличением расстояния  $r$ .

18  $F_Y^0$  - значение функции системообразующего влияния университета в пределах поселения, города, в котором университет находится, в расчете на одного жителя.

19 В модели исходим из двух упрощающих реальность предположений. Первое, город расположения университета ограничен неким одинаковым для всех поселений кругом радиусом  $r_Y^0$ , значение которого не влияет на суть исследования. Второе, промышленный и научный потенциал поселений пропорционален населению (что в общем и целом неверно, в разных поселениях ситуация выглядит неодинаково). По этой причине  $F_Y^0$  устанавливается в расчете на одного жителя поселения, в связи с чем системообразующий эффект университета на поселение пропорционален населению:

$$20 \quad E_Y(r) = F_Y^0 * P_{\text{поселение}} \quad (2)$$

21 Коэффициент  $\beta$ , определяющий темп уменьшения значения функции системообразующего влияния, количественно определяется из следующих соображений. При заданном значении показателя  $\beta$  на заданном расстоянии  $r^{\max}$  значение функции (1) уменьшится в  $K$  раз:

$$22 \quad K = \frac{F_Y^0}{F_Y(r^{\max})} \quad (3)$$

23 После преобразований (подробнее в [4]) можно получить:

$$24 \quad \beta = \log \left( \frac{r^{\max}}{r^0} \right) \left( K \right) \quad (4)$$

25 задавая  $K$  и  $r^{\max}$ , как внешние параметры, расчет функции системообразующего влияния можно вести по формуле:

$$26 \quad F_Y(r) = F_Y^0 * \left( \frac{r^0}{r} \right)^{\log \left( \frac{r^{\max}}{r^0} \right) \left( K \right)}, \quad r > r^0 \quad (5)$$

27 С учетом (2) совокупный системообразующий эффект университета на население поселений в области определяется по формуле, первое слагаемое которого определяет системообразующий эффект на поселение (город), в котором университет находится, а второе слагаемое – сумму системообразующих эффектов на поселения региона:

$$28 \quad E_Y(\Omega) = F_Y^0 * P_{\text{город}} + \sum_{j \in \Omega} F_Y(r_j) * P_{\text{поселение } j} \quad (6)$$

29  $r_j$  – расстояние между университетом и поселением  $j$ .

30 Для проведения эмуляционных экспериментов была разработана программа на языке NetLogo и создана база данных обо всех городских округах и муниципальных районах Российской Федерации, включающая данные о географических координатах поселений, при этом полагалось, что все население муниципального района располагается в точке с координатами муниципального центра. Методологические вопросы построения базы данных были рассмотрены в [2], а ход построения описан в [3].

31 Используя разработанную нами базу данных можно визуализировать расположение

городов по территории страны. По опции «показывать – не показывать названия городов» и опции «минимальное население показываемого города», можно регулировать визуальную читаемость карты (рис.2).

32

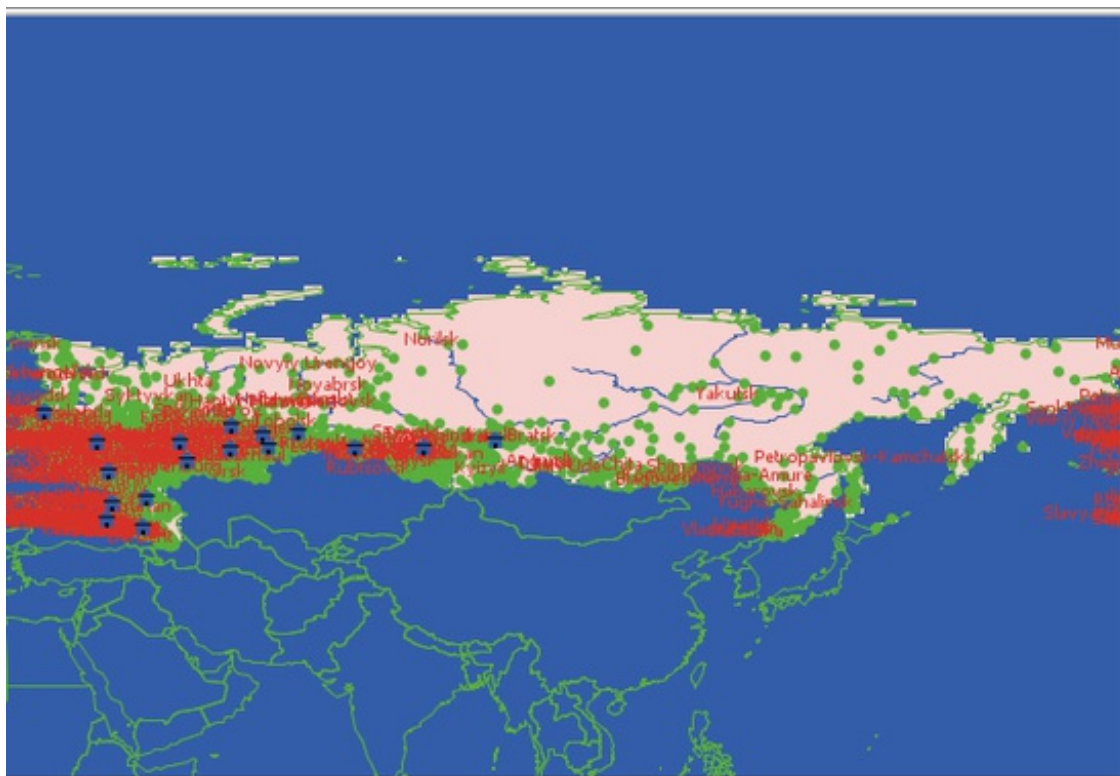


Рис.2. Визуализация городов на карте РФ

33 Также, можно визуализировать часть территории страны (рис.3).

34



Рис.3. Визуализация городов Северо-Западного федерального округа.

35 В начале исследования, при апробации методики, компьютерная модель была построена на основе агент-ориентированного подхода [4], когда университеты изначально располагались в узлах решетки, покрывающей страну, и потом сами «искали» место, в котором максимизируется их системообразующий эффект, исходя из ближайших «точек притяжения», при ограничении области поиска (иначе все бы собрались в г. Москве). Эта модель была ориентирована на поиск мест, лежащих вне больших городов, которые теоретически могут существовать, как было обсуждено выше. Но ввиду специфики России, в

которой население распределено крайне неравномерно даже в пределах группы 2-3-4 регионов, где население концентрируется в больших городах – столицах регионов, а расстояния между столицами большие, точки максимального системообразующего эффекта между большими городами найти не удастся. Ввиду этого, для целей нашего исследования, мы провели расчет системообразующего эффекта для всех городов страны, располагая в них системообразующие университеты. При этом компьютерная программа уже не представляла агент-ориентированную модель, но позволила получить убедительные результаты.

36 Расчет производился при следующих показателях: с  $K=2$ ,  $r_y^0 = 15$  км, а для размера области задавались три значения:  $r_{max} = 250, 500$  и  $750$  км. Результаты расчетов мы видим в таблицах 1, 2, 3, где города с миллионным населением (это изменяемый параметр, конечно), упорядочены по убыванию суммарного системообразующего эффекта университета, расположенного в этом городе.

37 *Из городов этого списка ФУ и НИУ есть в Москве, Ростове-на-Дону, Казани, Самаре, Нижнем Новгороде, Санкт-Петербурге, Перми, Екатеринбурге, Челябинске, Новосибирске, Красноярске, Владивостоке, Томске, Иркутске и Саратове. В некоторых городах есть два НИУ, или ФУ и НИУ. А в Казани – один ФУ и два НИУ.*

38 *На основе этих расчетов можно сделать ряд выводов. Первоначально, в [4] нами ставилось под сомнение целесообразность расположения ФУ в Ростове-на-Дону, а не в Волгограде, на основании того, что первый город расположен близко к границе РФ, а второй расположен более-менее в середине Южного федерального округа, и точно по середине между границами РФ с Украиной и Казахстаном. Однако наш расчет (табл.1) показывает, что расположение ФУ в Ростове-на-Дону позволяет достичь большего системообразующего эффекта, чем это было бы при расположении его в Волгограде. Причем этот вывод устойчив для всех трех расчетов (при охвате территории РФ областью с радиусами 250, 500 и 750 км.).*

39 Второй вывод касается г. Уфы, находящегося во всех трех расчетах на восьмой позиции. Как известно, в этом городе нет ни ФУ, ни НИУ. При этом по всем трем расчетам, все города выше Уфы в таблицах 1-3 имеют университеты с этими специальными статусами, и все остальные ФУ и НИУ расположены в городах, где значение системообразующего эффекта ниже, чем если оно было бы при расположении в городе Уфе. Это подтверждается и расчетами, проведенными для городов расположения, независимо от их населения.

40 *Таблица 1. Показатели суммарного эффекта свыше 1млн. чел. для  $r_{max} = 250$  км*

№	Города	Значение суммарного системообразующего эффекта
1	Moskva	20336658,12
2	Sankt-Peterburg	8608684,49
3	Novosibirsk	3071632,58
4	Ekaterinburg	2483377,15
5	Samara	2059280,47
6	Nizhniy Novgorod	2058016,85
7	Kazan	2049465,47
<b>8</b>	<b>Ufa</b>	<b>2036554,49</b>
9	Omsk	2008158,18
10	Chelyabinsk	2002404,71
11	Krasnoyarsk	1984133,71
12	Perm	1931955,18
13	Rostov-na-Donu	1815565,21

14	Voronezh	1678400,23
15	Volgograd	1645366,26
16	Krasnodar	1595182,94
17	Tyumen	1537191,39
18	Saratov	1457643,05
19	Irkutsk	1371251,37
20	Tolyatti	1276068,58
21	Habarovsk	1200565,33
22	Mahachkala	1182038,62
23	Barnaul	1167575,72
24	Tomsk	1155488,87
25	Ulyanovsk	1123142,91
26	Orenburg	1088212,23
27	Yaroslavl	1087000,15
28	Kemerovo	1078361,80
29	Novokuznetsk	1073388,92
30	Vladivostok	1072230,02
31	Izhevsk	1069274,73

41 *Таблица 2. Показатели суммарного эффекта свыше 1млн. чел. для  $r_{max} = 500$  км*

№	Города	Значение суммарного системообразующего эффекта
1	Moskva	21082471,72
2	Sankt-Peterburg	8934563,08
3	Novosibirsk	3141826,01
4	Ekaterinburg	2561562,48
5	Nizhniy Novgorod	2131974,85
6	Samara	2129825,75
7	Kazan	2119963,54
<b>8</b>	<b>Ufa</b>	<b>2103296,63</b>
9	Chelyabinsk	2065115,26
10	Omsk	2062923,35
11	Krasnoyarsk	2016047,15
12	Perm	1995005,41
13	Rostov-na-Donu	1881927,37
14	Voronezh	1739634,86
15	Volgograd	1704012,42
16	Krasnodar	1653842,59
17	Tyumen	1583242,27
18	Saratov	1508941,38
19	Irkutsk	1391408,78
20	Tolyatti	1319964,97
21	Habarovsk	1235709,60
22	Mahachkala	1223815,19
23	Barnaul	1203445,86
24	Tomsk	1180229,58
25	Ulyanovsk	1162005,92
26	Yaroslavl	1126392,48
27	Orenburg	1124298,88



28	Izhevsk	1105012,22
29	Vladivostok	1103476,36
30	Kemerovo	1100975,22
31	Novokuznetsk	1095746,82
32	Ryazan	1001520,53

42 *Таблица 3. Показатели суммарного эффекта свыше 1 млн. чел. для  $r_{max} = 750$  км*

№	Города	Значение суммарного системообразующего эффекта
1	Moskva	21429231,86
2	Sankt-Peterburg	9086516,15
3	Novosibirsk	3173530,20
4	Ekaterinburg	2597488,05
5	Nizhniy Novgorod	2166300,58
6	Samara	2162440,17
7	Kazan	2152566,61
<b>8</b>	<b>Ufa</b>	<b>2134050,27</b>
9	Chelyabinsk	2093920,03
10	Omsk	2087869,61
11	Krasnoyarsk	2030290,02
12	Perm	2024049,14
13	Rostov-na-Donu	1912772,91
14	Voronezh	1768092,45
15	Volgograd	1731212,72
16	Krasnodar	1681122,49
17	Tyumen	1604334,07
18	Saratov	1532708,68
19	Irkutsk	1400384,11
20	Tolyatti	1340265,71
21	Habarovsk	1251783,23
22	Mahachkala	1243177,69
23	Barnaul	1219901,18
24	Tomsk	1191374,71
25	Ulyanovsk	1179987,20
26	Yaroslavl	1144688,59
27	Orenburg	1140941,34
28	Izhevsk	1121503,24
29	Vladivostok	1117763,37
30	Kemerovo	1111153,92
31	Novokuznetsk	1105807,97
32	Ryazan	1017824,51

43 *Кроме того, видно что, что ФУ во Владивостоке может обеспечить значение системообразующего эффекта на окружающее пространство ниже, чем большинство городов, входящих в списки таблиц 1-3, причем отрыв существенный: значение этого системообразующего эффекта почти в два раза ниже, чем при расположении аналогичного вуза в Уфе или Омске. Все это говорит о том, что расположение ФУ по территории страны не оптимально с точки зрения максимизации системообразующего эффекта – функции, возложенной на ФУ в нормативных документах.*

---

## References:

1. Akhunov R.R., Zul'karnaj I.U., Islakaeva G.R. Otsenka sootvetstviya statusa universitetov regiona ego potentsialu (na primere Respubliki Bashkortostan) // Ehkonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskij zhurnal. 2017, № 1 (135).
2. Gumerova G. T. Metodologicheskie voprosy ispol'zovaniya kart GIS v avtorskikh programmakh v srede Netlogo // Iskusstvennyye obschestva. 2017, T. 12, № 3-4 URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000108-7-1/>
3. Gumerova G. T. , Zul'karnaj I. U. Metod rascheta optimal'nogo razmescheniya sistemoobrazuyuschikh vuzov po territorii strany // Iskusstvennyye obschestva. 2018, T. 13, № 4 URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000142-5-1/>
4. Zul'karnaj I.U. Mul'tiagentnyj podkhod k razrabotke regional'noj politiki po razmescheniyu uchrezhdenij vysshego obrazovaniya po territorii strany // Iskusstvennyye obschestva. 2017, T. 12, № 3-4. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000111-1-1/>
5. Islakaeva G.R., Zul'karnaj I.U. Rezul'tativnost' regional'noj politiki v sfere vysshego professional'nogo obrazovaniya // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj akademii nauk. 2012. № 1.
6. Korchagina I.V. Innovatsionno-tekhnologicheskie preobrazovaniya klasterov malykh i srednikh predpriyatij na osnove integratsii opornogo universiteta // e-FORUM. 2017. № 1 (1).
7. Lyosh A. Prostranstvennaya organizatsiya khozyajstva. // M.: Nauka, 2007.
8. Malyavina A. B. O kontseptual'nykh problemakh sozdaniya federal'nykh universitetov // Vlast'. 2007. № 5.
9. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 13 iyulya 2009 goda N 550 «O konkursnom otbore programm razvitiya obrazovatel'nykh organizatsij vysshego obrazovaniya, v otnoshenii kotorykh ustanavlivaetsya kategoriya "natsional'nyj issledovatel'skij universitet" (s izmeneniyami na 6 avgusta 2013 goda)» // URL: <http://docs.cntd.ru/document/902165684>
10. Pochemu Nazarbaev universitet ne popadaet v global'nye rejtingi vuzov? // URL: <http://www.exclusive.kz/expertiza/obshhestvo/117355/>
11. Salmi D. Sozdanie universitetov mirovogo klassa. // M.: Ves' mir. 2009.
12. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii ot 07.10.2008 g. № 1448 «O realizatsii pilotnogo proekta po sozdaniyu natsional'nykh issledovatel'skikh universitetov» // URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/28121>
13. 5-100. Proekt povysheniya konkurentosposobnosti veduschikh rossijskikh universitetov sredi veduschikh mirovykh nauchno-obrazovatel'nykh tsentrov // URL: <https://www.5top100.ru/>
14. QS World University Rankings-2019 // URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2019>

# Имитационное моделирование в исследовании вопросов оптимального размещения системообразующих вузов по территории страны

**Зулькарнай И. У.**

*Уфимский федеральный исследовательский центр РАН  
Российская Федерация, Уфа*

## **Аннотация**

Статья посвящена описанию процесса и результатов исследования, посвященного проблеме оптимального размещения вузов с особыми статусами (ФУ, НИУ, опорные университеты) по территории страны, где критерием оптимальности является максимизация системообразующего эффекта на окружающее университет пространство при ограниченном бюджете всей совокупности таких университетов. При расчете системообразующего эффекта использовались данные о координатах городских округов и муниципальных районов, их население, учитывалась кривизна Земного шара. Компьютерная модель для проведения расчетов была реализована в среде агент-ориентированного языка. Выводы, сделанные в статье, позволяют внести коррективы в присуждение, или наоборот, снятия специальных статусов университетам при наступлении возможности пересмотра, изначально предусмотренного, например, для Национальных исследовательских университетов.

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, региональная экономика, федеральный университет, национальный исследовательский университет, Netlogo

**Дата публикации:** 19.12.2019

## **Ссылка для цитирования:**

Зулькарнай И. У. Имитационное моделирование в исследовании вопросов оптимального размещения системообразующих вузов по территории страны // Искусственные общества. 2019. Т. 14. Выпуск 4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007884-1-1/> (дата обращения: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007884-1