
НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Компьютерное моделирование вариантов пространственного развития научно-технологической сферы в Российской Федерации

© 2020 г. Н.К. Хачатрян, О.И. Кузнецова

Н.К. Хачатрян,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: nerses-khachatryan@yandex.ru

О.И. Кузнецова,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: olgaku1992@bk.ru

Поступила в редакцию 19.12.2019

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований РАН «Многофакторные вызовы и риски перехода к новому этапу научно-технологического и экономического развития России: фундаментальные и прикладные проблемы».

Аннотация. Научные исследования затрагивают все сферы нашей жизни. Они являются не только методом познания мира вокруг нас, но также источником инноваций и новых технологий. В современном динамичном мире каждому государству становится все важнее генерировать инновации. Это необходимо, для того чтобы оставаться конкурентоспособным на мировой арене в самых различных сферах, будь то экономика, промышленность или освоение космоса. Поэтому сфера научных исследований и разработок в стране должна являться объектом особого национального интереса. Тем не менее уровень ее развития и эффективности все еще трудно поддается количественной оценке. Данная статья посвящена анализу сферы научных исследований и разработок в разрезе субъектов Российской Федерации (далее — РФ) с целью оценки ее эффективности, уровня дифференциации по регионам, а также прогнозирования динамики ее развития. Еще одной целью исследования является оценка финансового инструмента воздействия на эффективность научных исследований и разработок. Исследования проведены на основе построенной авторами агент-ориентированной модели (далее — АОМ). Выбор данного метода исследования обусловлен возможностями смоделировать систему, максимально приближенную к реальности, а также проведения большого числа экспериментов с различными исходными данными. Основным результатом наших численных экспериментов является расчет прогнозных значений результативности научных исследований и разработок в регионах РФ, а также оценка влияния финансовых затрат на этот показатель. Прогноз, полученный в результате данного исследования, показал, что более чем в 30 регионах страны наблюдается отрицательная динамика результативности научных исследований и разработок, которая сохраняется даже при существенном увеличении финансовых затрат в этой сфере.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, научные исследования и разработки, прогнозирование, регионы России.

Классификация JEL: C52, C53.

DOI: 10.31857/S042473880010525-6

ВВЕДЕНИЕ

Уровень благополучия и развития государства определяется на основе таких различных характеристик, как экономический рост, уровень жизни населения, свобода слова, военная безопасность и множество других. Одним из важнейших таких показателей можно назвать уровень научно-технологического развития в стране. Именно научно-технологическое развитие позволяет государству оставаться конкурентоспособным на мировой арене, особенно в условиях глобализации. Основным генератором высокотехнологических инноваций является сфера научных исследований и разработок, поэтому ее развитие — важная задача для страны. Кроме того, развитая сфера научных исследований и разработок может серьезно влиять и на рост уровня жизни населения, и на рост экономики в стране.

Актуальность исследования сферы научных исследований и разработок (в том числе оценки, прогнозирования, выявления эффективных мер стимулирования) в России обозначена в рамках системы стратегического планирования (Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ), а также в рамках «Стратегии

научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15 августа 2019 г. № 1824-р).

Одним из самых современных и активно развивающихся методов исследования и прогнозирования в различных областях науки является направление компьютерного имитационного моделирования — агент-ориентированное моделирование (Макаров, Бахтизин, 2013). По сути, это — имитация / воспроизведение любого реального процесса внутри компьютерного пространства посредством воссоздания конкретных алгоритмов действий. Иными словами, агент-ориентированное моделирование может использоваться практически в любой сфере (например, научные эксперименты, логистика, медицина, демография, экономические процессы и другие). Среди отечественных исследований, посвященных изучению демографии и экономических процессов с помощью АОМ, отметим публикации сотрудников ЦЭМИ РАН (Макаров, Бахтизин, Сушко и др., 2016; Макаров, Бахтизин, Бекларян и др., 2019а, 2019б, 2019с; Макаров, Бахтизин, Сушко, Агеева, 2018; Макаров, Окрепилов, 2016; Абрамов, 2019).

Агент-ориентированное моделирование также активно применяется в исследованиях зарубежных ученых, в том числе из США, Великобритании, Испании, Германии, Пакистана, Китая и многих других стран. Отметим, что большое число работ зарубежных исследователей, основанных на применении агент-ориентированного моделирования, публикуется в международном журнале «Journal of Artificial Societies and Social Simulation» (Hartshorna, Kaznatcheeva, Shultz, 2013; Reardona, Kasmanb, Klasikc, Baker, 2016; Yun, Moon, Lee, 2015; Takácsa, Squazzoni, 2015).

Одними из неоспоримых преимуществ АОМ являются возможности индивидуализации таких моделей для решения любой конкретной задачи, а также ее детализации и доработки до необходимого уровня. Все это делает АОМ универсальным инструментом в процессе анализа, прогнозирования и принятия решений. В предыдущей работе (Хачатрян, Кузнецова, 2018) авторы исследовали влияние уровня развития научно-технического прогресса на экономический рост на примере регионов РФ. Было показано, что регионы, в которых наблюдается высокая инновационная активность, демонстрируют стабильный экономический рост.

В данном исследовании основная цель — оценка и прогнозирование эффективности научных исследований и разработок в регионах РФ в рамках современного этапа технологического развития страны, а также выявление сценариев, при которых уровень эффективности будет не сильно дифференцирован по субъектам РФ. В данном исследовании в качестве показателя, характеризующего эффективность научных исследований и разработок (далее — РНИР), выступает число патентов на одного сотрудника, занятого научными исследованиями и разработками (показатель RRD).

Стоит отметить, что в дальнейшем в качестве такого показателя планируется использовать *агрегированный показатель*, который, помимо числа патентов, будет также включать публикационную активность и число созданных передовых производственных технологий. Указанные характеристики обозначены в качестве показателей, характеризующих результативность научных исследований и разработок в рейтинге инновационного развития субъектов РФ, публикуемом Институтом статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) (Абдрахманова, Бахтин, Гохберг и др., 2017).

В рамках агент-ориентированного моделирования предусматривается анализ поведения и действий агентов. В данной АОМ авторы предусмотрели два типа агентов: агенты-люди и агенты-регионы. Первые имитируют жизнь реальных людей: рождение, взросление, поступление в вуз, выбор сферы деятельности, набор квалификации, переезды в другие регионы и, наконец, выбытие из модели (модельная смерть агента). Вторые являются компьютерными версиями регионов РФ с рядом таких социально-экономических показателей, как численность населения, ожидаемая продолжительности жизни населения, валовый региональный продукт (далее — ВРП) и др., а также показателей, характеризующих научно-технологический потенциал, среди которых численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (далее — научные сотрудники), затраты на научные исследования и разработки и др.

Стоит уточнить, что сами агенты-люди функционируют на микроуровне, однако суммарные результаты их действий и взаимодействий становятся составляющими макропоказателей регионов и страны в целом.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

1.1. Техническая составляющая модели

Данная АОМ построена на базе Visual Studio и написана на языке программирования C#. Исходные данные взяты из баз данных Федеральной службой государственной статистики (Росстат¹), Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС²), а также Мониторинга качества приема в вузы НИУ ВШЭ³.

Процесс работы данной АОМ можно разделить на четыре этапа:

- считывание входных данных из внешних файлов;
- производство вычислений. Программа выполняет вычисления по заданным алгоритмам на основе входных данных и генерирует результаты моделирования;
- выгрузка полученных данных во внешние файлы (за каждый период модельного времени);
- визуализация полученных результатов. Наглядность дает дополнительные возможности для анализа и повышает вероятность выбора наиболее эффективного решения. Данная модель визуализирует выходные данные с помощью внутренних инструментов программы Visual Studio, а также отображения на карте с помощью технологий QGIS.

1.2. Агенты-люди: характеристики, поведение

Агенты-люди имеют следующие характеристики: 1) возраст (*Age*); 2) ожидаемая продолжительность жизни (*Lifespan*); 3) регион проживания в РФ (*Region*); 4) профессия (*Profession*) (студент, научный сотрудник, работник других сфер (не имеющих отношения к сфере исследований и разработок)).

Характеристикой *Profession* обладают только агенты-люди, закончившие школу.

Характеристики *Age* и *Lifespan* в начальный момент времени для каждого агента-человека задаются случайно в соответствии со статистикой по региону, к которому относится агент. Далее в каждый следующий момент модельного времени возраст увеличивается на единицу и по истечении некоторой ожидаемой продолжительности жизни агент выбывает из модели. Интенсивность появления новых агентов-людей (рождение) также задается согласно соответствующей статистике по региону.

Студенты, помимо указанных выше характеристик, имеют следующие дополнительные характеристики (количественные показатели): предрасположенность к научной деятельности (*Priority*) — показатель желаний агента-человека заниматься научными исследованиями и разработками; уровень квалификации (*Qualification*) — показатель знаний, полученных по профильному виду деятельности в вузе.

Каждому студенту к окончанию учебы в вузе присваивается показатель *Priority* с помощью случайной величины, имеющей равномерное распределение на отрезке [0, 100] и принимающей целые значения.

Показатель *Qualification* на момент поступления студента в вуз равен нулю и по мере учебы в вузе (каждый год) увеличивается на величину из определенного диапазона, границы которого зависят от категории вуза. В модели присутствует субъективное деление учебных заведений по категориям: «сильный», «средний», «слабый» (по уровню предоставляемого образования) — в соотношении 20, 50, 30% соответственно. Таким образом, когда студент заканчивает вуз, его квалификация может варьироваться в определенном диапазоне, в зависимости от категории вуза. Максимальное значение данного показателя равно 100.

С помощью этих показателей описывается процесс перехода из «студента» в «научного сотрудника» или в «работника других сфер» (показатель *Profession*). Других вариантов смены профессий в данной версии модели не предусмотрено. Другими словами, человек-агент, не являющийся научным сотрудником в начальный момент времени, может стать им только после окончания вуза в зависимости от

¹ <https://www.gks.ru/folder/12781> (раздел «Демография»); <https://www.gks.ru/folder/14477> (раздел «Наука и инновации»); https://www.gks.ru/labour_force (раздел «Трудовые ресурсы»).

² <https://www.fedstat.ru/indicator/31293>; <https://www.fedstat.ru/indicator/43701>; <https://fedstat.ru/indicator/31269>

³ <https://ege.hse.ru/rating/2018/77479782/all/> (за 2018 г.).

показателей *Priority* и *Qualification*. Пороговые значения этих показателей являются изменяемыми параметрами модели.

В модели предусмотрена возможность внутренней миграции научных сотрудников. Данный процесс зависит от следующих дополнительных свойств, которыми обладают научные сотрудники: 1) уровень мобильности (*Mobility*) — показатель от 0 до 100, демонстрирующий готовность агента-человека из данной сферы деятельности к переезду в другой регион страны; 2) условие переезда (*Conditions*) — минимальное соотношение заработной платы в регионах (проживания агента и возможного переезда), стимулирующее научных сотрудников переезжать в другой регион. Оба показателя являются параметрами модели и одинаковы для всех регионов.

1.3. Агенты-регионы: основные показатели, динамика эндогенных показателей

Каждый регион характеризуется:

1) социально-экономическими показателями (численность населения (L); численность рабочей силы (L_w); численность студентов (L_{st}); число родившихся на 1000 человек (L_{born}); ожидаемая продолжительность жизни ($L_{lifespan}$); стоимость основных фондов (K); валовый региональный продукт (GRP));

2) показателями, характеризующими его научно-технический потенциал (численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (L_s); внутренние затраты на научные исследования и разработки (K_s); среднегодовая оплата труда персонала, занятого научными исследованиями и разработками (W_s); число патентов (P)).

В начальный момент модельного времени всем показателям субъектов РФ присваиваются значения, соответствующие статистическим данным по региону за 2017 г. Показатели L_{born} и $L_{lifespan}$ остаются неизменными в течение всего периода моделирования, остальные — эндогенные:

$$K_i(t) = a_i + b_i t, \quad (1)$$

$$GRP_i(t) = A_i K_i(t)^{\alpha_i} L_{wi}(t)^{\beta_i} L_{si}(t)^{\gamma_i}, \quad (2)$$

$$K_{si}(t) = \vartheta_i \delta GDP_i(t) L_{si}(t) / L_{si}(t-1), \quad (3)$$

$$W_{si}(t) = \mu_i K_{si}(t), \quad (4)$$

$$RRD_i(t) = \theta_i (K_{si}(t) / L_{si}(t))^{\rho_i} (L_{si}(t) / L_{wi}(t))^{\tau_i}, \quad (5)$$

где i — номер региона.

В начальный момент времени показатель K имеет значение, равное величине стоимости основных фондов за 2017 г. Далее данный показатель меняется в соответствии с линейной регрессионной зависимостью (1), построенной по временному ряду, представляющему собой годовые значения показателя K за период времени с 2004 по 2016 г.

В начальный момент времени показатель GRP имеет значение, равное ВРП в 2017 г. Далее он описывается с помощью мультипликативной производственной функции (2), где в качестве факторов выступают основные фонды K , численность экономически активного населения L_w , численность научных сотрудников L_s . Для каждого региона параметры производственной функции оценены по данным временных рядов, представляющих собой годовые значения показателей GRP , K , L_w , L_s за период времени с 2004 по 2016 г.

По значениям показателя K_s , а также ВРП за 2017 г. вычислены доли затрат на научные исследования и разработки от ВРП в каждом регионе в 2017 г. (ϑ_i). Далее затраты на научные исследования и разработки в каждом регионе на каждом следующем шаге определяются в зависимости от этих долей, ВРП региона и динамики числа научных сотрудников в регионе согласно соотношению (3). С помощью множителя δ можно менять доли затрат на научные исследования и разработки одинаково по всем регионам. Это позволит прогнозировать изменение показателей, характеризующих научно-технический потенциал регионов при увеличении их финансирования.

По значениям показателя W_s , а также затрат на научные исследования и разработки за 2017 г. вычислены доли затрат на оплату труда научным сотрудникам от затрат на научные исследования и разработки в каждом регионе в 2017 г. (μ_i). Далее данный показатель в каждом регионе на каждом следующем модельном шаге определяется согласно соотношению (4).

В начальный момент времени показатель RRD имеет значение в виде числа патентов на одного научного сотрудника. Динамика данного показателя определяется с помощью мультипликативной производственной функции (5), где в качестве факторов выступают: затраты на научные исследования и разработки на одного научного сотрудника и доля научных сотрудников в численности рабочей силы. Для каждого региона параметры производственной функции оценены по данным временных рядов, представляющих собой годовые значения указанных показателей за период времени с 2010 по 2017 г.

Перейдем к показателям, характеризующим численность агентов-людей. Отметим, что их динамика формируется в результате действий агентов-людей.

Показатель L : на каждом шаге модельного времени происходит изменение численности людей в регионе в зависимости от числа родившихся и умерших агентов, а также внутренней миграции научных сотрудников.

Показатель L_w : в начальный момент времени данный показатель имеет значение, равное численности рабочей силы региона за 2017 г. Далее данный показатель меняется в соответствии со следующим предположением: численность рабочей силы в численности всего населения является величиной постоянной (доля), т.е. изменения L_w пропорциональны изменениям L .

Показатель L_{st} : в начальный момент времени данный показатель имеет значение, равное численности студентов за 2017 г. Далее данный показатель меняется в зависимости от числа студентов, окончивших вузы, и числа абитуриентов, поступивших в вузы. Доля абитуриентов, поступивших в вуз, не меняется в течение всего периода моделирования.

Показатель L_s : в начальный момент времени данный показатель имеет значение, равное численности научных сотрудников за 2017 г. Далее данный показатель меняется в зависимости от числа бывших студентов, которые после окончания вуза стали научными сотрудниками, числа умерших научных сотрудников и внутренней миграции научных сотрудников.

Еще раз уточним, что в начальный момент модельного времени численность всех агентов, их свойства и распределение по регионам создаются в соответствии со статистикой Росстата. Единицей модельного времени является год. Модель позволяет строить прогнозы на любой период времени.

1.4. Интерфейс

Одним из преимуществ АОМ является возможность проведения разнообразных экспериментов в любом объеме. Для этого необходимо построить удобный пользовательский интерфейс модели. С помощью пространства имен System.Windows.Forms, которое содержит классы для создания приложений Windows, построен интерфейс модели, позволяющий пользователю задать период моделирования, выбрать значения параметров модели (экзогенных показателей).

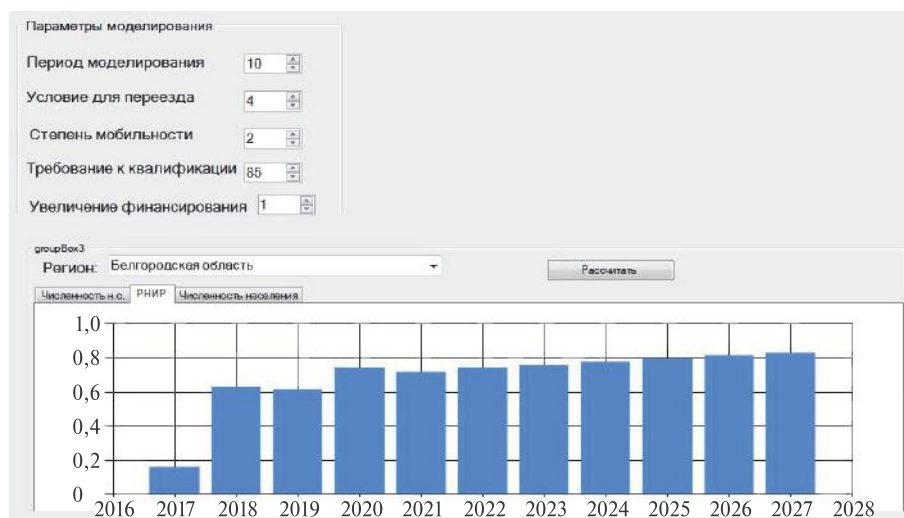


Рис. 1. Интерфейс модели

Интерфейс модели позволяет наглядно демонстрировать динамику некоторых эндогенных показателей по выбранному региону. Например, на рис. 1 показана динамика показателя РНИР для Белгородской области в 2017–2027 гг.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В представленной модели популяция агентов-людей в 100 раз меньше реальной численности населения России. Это стандартный способ агрегации популяции агентов, где агентами являются представители или группы реальных агентов. Стоит отметить, что в дальнейшем модель предполагается запускать на суперкомпьютере, что позволит увеличить модельное число агентов до реальной численности населения в РФ. Это, в свою очередь, позволит значительно повысить точность работы модели.

В проведенных расчетах эндогенные показатели рассчитываются на 10 шагов модельного времени, т.е. на 10 лет вперед. Динамика некоторых показателей включает стохастическую составляющую. В силу этого каждый раз при запуске модели ее результаты будут в той или иной мере отличаться друг от друга. Поэтому именно общая тенденция и коридор получаемых на выходе данных являются одним из основных результатов проведения численных экспериментов.

Другим не менее важным результатом проведения экспериментов является исследование зависимости эндогенных показателей от параметров модели. Напомним, что параметрами модели являются *Mobility*, *Conditions*, *Qualification* и множитель δ .

В рамках данной статьи приводятся результаты экспериментов, описывающих зависимость РНИР (*RRD*) от изменения доли затрат на научные исследования и разработки (на множитель δ). Поэтому в этих экспериментах менялось значение множителя δ при фиксированных на определенном уровне остальных значениях параметров модели (*Mobility* = 2, *Conditions* = 4, *Qualification* = 85). Опишем результаты двух серий экспериментов. В каждой из серий было проведено по девять экспериментов (по причине наличия стохастической составляющей), результаты которых были усреднены. В первой серии экспериментов значения $\delta = 1$, что соответствует имеющимся в 2017 г. долям финансирования науки в регионах РФ. Во второй серии экспериментов $\delta = 1,5$, т.е. описывается сценарий, при котором доля затрат на финансирование науки в каждом регионе увеличится на 50%. В каждой из этих двух серий экспериментов были получены динамика показателей L_s и *RRD* за указанный период времени (с 2017 по 2027 г.) по регионам РФ, а также динамика отклонения *RRD* от среднего значения по стране (выборочная дисперсия *RRD*).

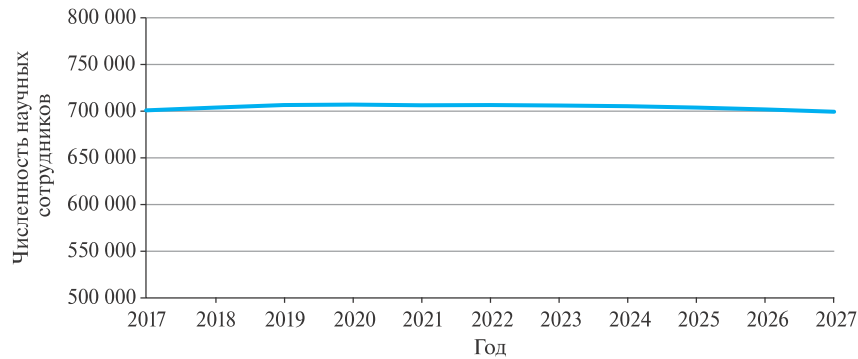
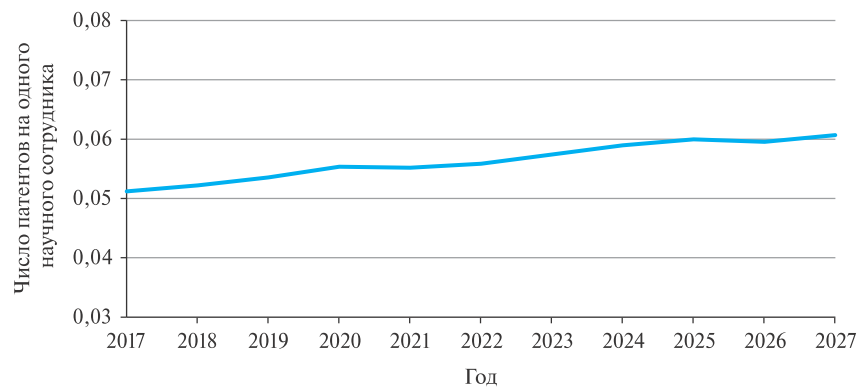
Полученные результаты позволили ответить на следующие вопросы. Каково значение коэффициента роста *RRD* в регионах РФ и в целом по стране? (Под коэффициентом роста *RRD* понимается величина, равная отношению значения *RRD* в 2027 г. к значению *RRD* в 2017 г.). Какова дифференциация *RRD* по стране? Какова ее тенденция? Может ли увеличение затрат на научные исследования и разработки повысить результативность научных исследований и разработок? На сколько?

По причине недостаточности статистических данных показатели Чукотского автономного округа, Республики Калмыкия и Сахалинской области не были учтены в эксперименте.

2.1. Первая серия экспериментов

В рамках первой серии экспериментов получаем результаты, представленные на рис. 2–4. На рис. 2 представлена динамика L_s в целом по стране. Видно, что итоговое прогнозное значение по L_s (на 2027 г.) не сильно изменилось. Иными словами, при отсутствии значительных изменений (экономических, политических, социальных и прочих) численность научных сотрудников останется практически на том же уровне. С начального значения в 700,8 тыс. человек в 2017 г. показатель немного возрастет до максимального значения в 707,2 тыс. человек в 2020 г., однако потом пойдет на спад до 699,4 тыс. человек в 2027 г. Несмотря на то что численность научных сотрудников практически не меняется, их результативность стабильно возрастает, хоть и незначительно. На рис. 3 представлена динамика *RRD* в целом по стране. Если в 2017 г. на одного научного сотрудника приходилось 0,05 патентов, то в 2027 г. это значение составило чуть более чем 0,06.

Если проанализировать коэффициенты роста результативности научных сотрудников (*RRD*) по регионам (см. рис. 4), то можно отметить, что показатели некоторых регионов не только не растут, но находятся на спаде — регионы из последней категории (< 1). Даже несмотря на то что рост *RRD*

Рис. 2. Динамика L_s в целом по странеРис. 3. Динамика RRD в целом по странеРис. 4. Коэффициент роста RRD по регионам

в целом по стране составил почти 33%, в 38 регионах показатель RRD снижается. В особенности это явление наблюдается в Республиках Тыва, Ингушетия, Карачаево-Черкессия, а также в Калужской и Псковской областях. Самый активный рост прогнозируется в Белгородской, Кемеровской, Оренбургской и Амурской областях, а также в Республиках Адыгея и Марий Эл.

Перейдем к оценке дифференциации RRD по регионам и ее тенденции. Выборочная дисперсия RRD в 2017 г. составила 0,028. В 2027 г. этот показатель был уже на уровне 0,057. В совокупности с положительным коэффициентом роста RRD по стране при почти половине регионов

с отрицательным ростом RRD можно сделать вывод о том, что намечается отчетливая тенденция к дальнейшей дифференциации регионов.

По результатам первой серии экспериментов можно сказать, что эффективность научной деятельности (RDD) в стране в целом растет. Тем не менее разница между регионами только увеличивается. Регионы, в которых состояние научной среды было на хорошем уровне, продолжают развивать науку и повышать ее эффективность, в то время как недостаточно развитые регионы показывают спад в научной эффективности.

2.2. Вторая серия экспериментов

Как было отмечено выше, в рамках второй серии экспериментов значение множителя δ увеличено в полтора раза (с 1 до 1,5). Основная цель — оценить, насколько увеличение затрат на научные исследования и разработки может повлиять на результативность научной деятельности и равномерность ее распределения по стране. Приведем результаты данной серии экспериментов.

На рис. 5 можно заметить, что в сравнении с первой серией экспериментов динамика численности научных сотрудников практически не меняется: 700,8 тыс. человек в 2017 г. и 699,2 тыс. человек в 2027 г. Результаты по итогам 2027 г. даже немного хуже, чем без увеличения финансирования (699,4 тыс. человек в 2027 г.). При увеличении финансирования на 50%, численность научных сотрудников практически не меняется, зато повышается результативность научных исследований и разработок (рис. 6). Если без увеличения финансирования максимальный уровень RRD составил чуть выше 0,06, то при увеличении финансирования к 2027 г. достигается максимальное значение в 0,077.

С помощью карты (рис. 7) можно видеть, что несколько регионов, которые в первой серии экспериментов имели отрицательную тенденцию по RRD , сейчас имеют положительную: это Владимирская область, г. Москва, Камчатский край и Еврейская автономная область. Несколько регионов, наоборот, сменили положительную тенденцию на отрицательную — Нижегородская, Тюменская и Магаданская области. По итогам число регионов с падением RRD составило 37, что всего на единицу меньше, чем без увеличения финансирования. Однако при условии увеличения

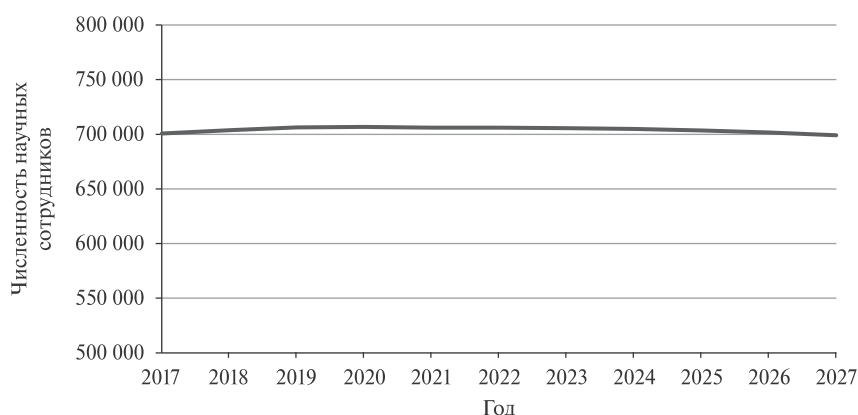


Рис. 5. Динамика L_s в целом по стране при увеличении финансирования науки на 50%

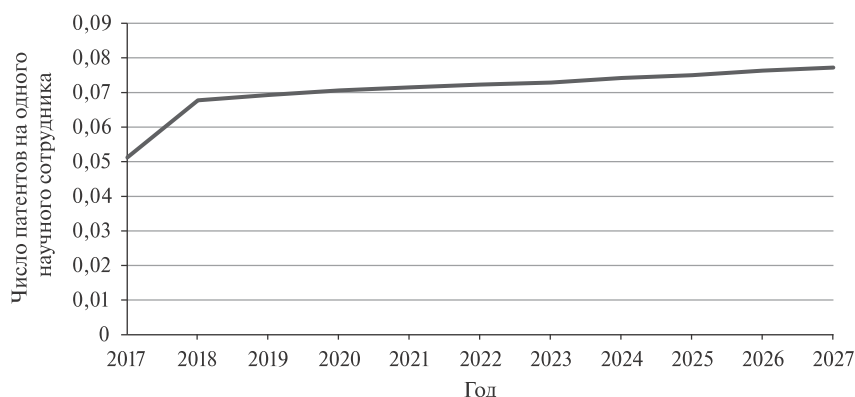


Рис. 6. Динамика RRD в целом по стране при увеличении финансирования науки на 50%



Рис. 7. Коэффициент роста RRD по регионам при увеличении финансирования науки на 50%

финансирования коэффициент роста по стране составил около 70% (против 33% — без увеличения финансирования).

Значение выборочной дисперсии RRD возросло с 0,028 в 2017 г. до 0,378 в 2027 г. (больше чем на порядок), что подтверждает сделанные ранее выводы о тенденции к расслоению субъектов РФ, их дистанцированию друг от друга.

На рис. 8 показан эффект финансирования для RRD (это отношение RRD в 2027 г. при увеличении финансирования к RRD в 2027 г. без увеличения финансирования). Данная карта подтверждает, что увеличение затрат на научные исследования и разработки не является бесспорно эффективным инструментом, если ставится цель увеличить результативность научных исследований и разработок в региональном разрезе (так как ряд регионов имеют при финансировании даже худшую тенденцию развития, чем без увеличения финансирования).

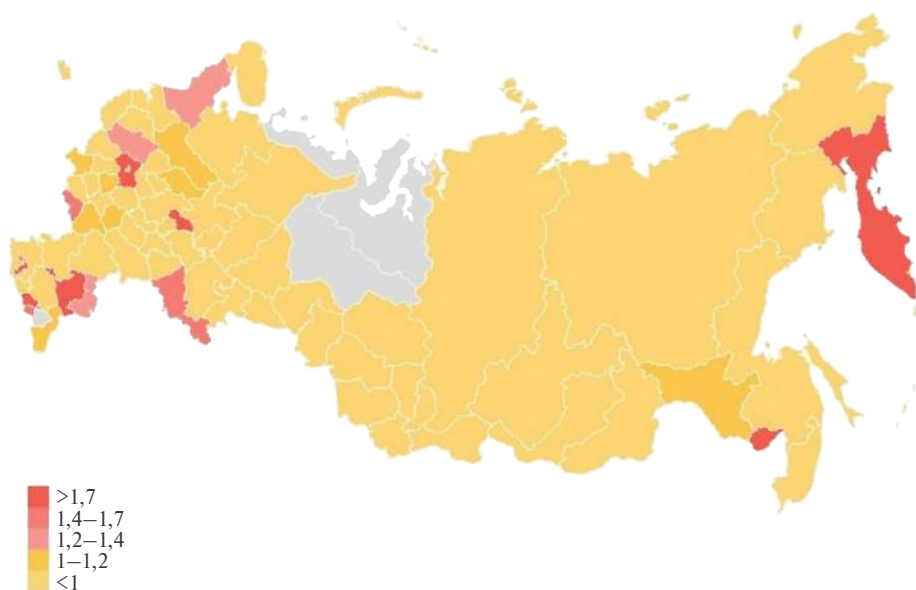


Рис. 8. Эффект финансирования для RRD

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты проведенного исследования при заданных исходных параметрах:

1) имеется тенденция дифференциации регионов по уровню результативности научно-исследовательской деятельности. На данный момент распределение научных сотрудников по регионам РФ очень неравномерно. Это касается и уровня их результативности. На перспективу в 10 лет без государственного регулирования эта тенденция только усилится. Регионы, развивавшие научно-исследовательскую деятельность, продолжат в той или иной мере повышать ее результативность, другие регионы — продолжают деградировать в сфере научных исследований и разработок. Тем самым разница между регионами будет только увеличиваться. Из положительных моментов можно отметить, что в целом по стране показатель результативности сферы научных исследований и разработок растет;

2) финансовый инструмент воздействия на результативность научных исследований и разработок представляется неоднозначным. Увеличение затрат на научные исследования и разработки значительно повысит их результативность в тех регионах, где имела тенденция к росту. Тем самым эти регионы начнут расти еще быстрее, что скажется и на общем показателе результативности по стране, что, бесспорно, является большим плюсом. Тем не менее разница между регионами станет еще более значительной. Поэтому очевидно: если имеется цель в более равномерном распределении по субъектам РФ научных сотрудников и степени их результативности, то одного увеличения финансирования недостаточно, более того, оно может только ухудшить ситуацию.

В заключение стоит сказать, что данная модель будет детализироваться в целях максимального приближения к реальности и получения более точных результатов прогноза. В рамках дельнейших шагов планируются добавление новых типов агентов, показателей и алгоритмов действий, а также широкомасштабный анализ результатов, генерируемых моделью, над чем авторы продолжают работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Абдрахманова Г.И., Бахтин П.Д., Гохберг Л.М. (2017). Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Вып. 5. М.: НИУ ВШЭ. [Abdrakhmanova G.I., Bakhtin P.D., Gokhberg L.M. (2017). *Russian regional innovation scoreboard*. Issue 5. Moscow: Higher School of Economics Publishers (in Russian).]
- Абрамов В.И. (2019). Опыт применения агент-ориентированного подхода к моделированию процессов в области миграционной политики // *Искусственные общества*. Т. 14. № 2. Режим доступа: <https://artsoc.jes.su/s207751800005912-2-1/>. DOI: 10.18254/S207751800005912-2. [Abramov V.I. (2019). Application of agent-based approach to the modeling of processes in the field of migration policy. *Artificial Societies*, 14, 2. Available at: <https://artsoc.jes.su/s207751800005912-2-1/> DOI: 10.18254/S207751800005912-2 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013). Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R. (2013). *Social modeling is a new computer breakthrough (agent-based models)*. Moscow: Ekonomika (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. (2019а). Имитационное моделирование системы умный город: концепция, методы и примеры // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. Т. 15. № 2. С. 200—224. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019a). Simulation modeling of the smart city system: The concept, methods and cases. *National Interests: Priorities and Security*, 15, 2, 200—224 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. (2019б). Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем // *Программная инженерия*. Т. 10. № 4. С. 167—177. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2019b). Development of software framework for large-scale agent-based modeling of complex social systems. *Software Engineering*, 10, 4, 167—177 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. (2019в). Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза // *Экономика и математические методы*. Т. 55. № 1. С. 3—15. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovsky N.V. (2019v). Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries. *Economics and Mathematical Methods*, 55, 1, 3—15 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. (2016). Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели // *Вестник Российской академии наук*. Т. 86. № 5. С. 412—421. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Vasenin V.A., Borisov V.A., Roganov V.A. (2016). Supercomputer technologies in social science: Agent-oriented demographic models. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 86, 5, 412—421 (in Russian).]

- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. (2018). Агент-ориентированная модель Евразии и имитация реализации крупных инфраструктурных проектов // *Экономика региона*. Т. 14. № 4. С. 1102–1116. [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. (2018). An agent-based model of Eurasia and simulation of consequences of large infrastructure projects. *Economy of Region* 14, 4, 1102–1116 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Окрепилов В.В. (2016). Принципы мониторинга качества жизни на основе агент-ориентированных моделей // *Вестник Российской академии наук*. Т. 86. № 8. С. 711–718. [Makarov V.L., Okrepilov V.V. (2016). Principles of life quality monitoring based on agent-oriented models. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 86, 8, 711–718 (in Russian).]
- Хачатрян Н.К., Кузнецова О.И. (2018). Компьютерное моделирование вариантов распределения инновационной активности по регионам России // *Вестник ЦЭМИ*. № 1. DOI: 10.33276/S0000105-8-1. Режим доступа: <https://cemi.jes.su/s11111110000105-8-1> [Khachatryan N.K., Kuznetsova O.I. (2018). Computer Modelling of Options of Distribution of Innovative Activity on Regions of Russia. *Herald of Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences*, 1. DOI: 10.33276/S0000105-8-1. Available at: <https://cemi.jes.su/s11111110000105-8-1> (in Russian).]
- Hartshorn M., Kaznatcheeva A., Shultz T. (2013). The evolutionary dominance of ethnocentric cooperation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 16 (3). DOI: 10.18564/jasss.2176 Corpus ID: 35708039. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/3/7.html>
- Reardon S., Kasman M., Klasik D., Baker R. (2016). Agent-based simulation models of the college sorting process. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 19 (1). DOI: 10.18564/jasss.2993. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/19/1/8.html>
- Yun W., Moon I., Lee T. (2015). Agent-based simulation of time to decide: Military commands and time delays. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18 (4). DOI: 10.18564/jasss.2871. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/10.html>
- Takács K., Squazzoni F. (2015). High standards enhance inequality in idealized labor markets. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18 (4), 2. DOI: 10.18564/jasss.2940. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/2.html>

Computer modelling of options of spatial development of scientific and technological sphere in the Russian Federation

© 2020 N.K. Khachatryan, O.I. Kuznetsova

N.K. Khachatryan,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: nerses-khachatryan@yandex.ru

O.I. Kuznetsova,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
e-mail: olgaku1992@bk.ru

Received 19.12.2019

Work is performed under the program of RAS fundamental research “Multivariate challenges and risks of transition to a new stage of scientific, technological and economic development in Russia: fundamental and applied problems”.

Abstract. Scientific research affects all areas of our life. It's not just a way to know the world around but it's a source of innovations and new technologies. In today's dynamic environment it is increasingly important for a state to produce innovations to remain competitive on a global scale in many different spheres whether it's economy, industry or space exploration. Therefore, the sphere of research and development (R&D) of a state should be treated as a matter of special national interest. However, the level of its development and effectiveness is still hard to assess. This article provides analysis of the regional R&D in the Russian Federation in order to assess their effectiveness, diversity and to forecast dynamics of their development. Another goal of the research is to evaluate how R&D spending influences its effectiveness. The research was conducted using an agent-based model (ABM) created by the authors. This method was used because it allows to simulate a system as close to reality as possible and to conduct a large number of experiments with different input. Main result of numerical experiments is a calculation of probable forecasted values of the regional R&D effectiveness in the Russian Federation as well as the assessment of the impact of financial spending on this indicator. The forecast obtained as a result of this research has shown that more than thirty regions have a negative trend of the R&D effectiveness independently from a possible increase of financial spending in this sphere.

Keywords: agent-based model, research and development, forecasting, Russian regions.

JEL Classification: C52, C53.

DOI: 10.31857/S042473880010525-6