

УДК 332.1: 519.876.5: 303.725.34
JEL C63, C67, D58, R15

Д. А. Доможиров, Н. М. Ибрагимов, Л. В. Мельникова, А. А. Цыплаков

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия*

*d.domozhirov@gmail.com, naimdjon.ibragimov@gmail.com
melnikova@ieie.nsc.ru, tsy@academ.org*

**ИНТЕГРАЦИЯ ПОДХОДА «ЗАТРАТЫ – ВЫПУСК»
В АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧАСТЬ 2. МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
В ИСКУССТВЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ**

Статья демонстрирует возможности пространственного анализа, предоставляемые агент-ориентированной многорегиональной моделью «затраты – выпуск» (АОМММ) российской экономики. Основная гипотеза АОМММ состоит в том, что решения агентов на микроэкономическом уровне приводят к пространственным изменениям на макроуровне. Подтверждение гипотезы требует экспериментальных расчетов с изменением разнообразных параметров, влияющих на решения агентов, таких как цены, налоги, тарифы и пр. Анализ результатов расчетов требует перейти от микроэкономических данных на макроуровень. В статье предложен метод структурного анализа результатов модельных расчетов с использованием таблиц «затраты – выпуск». Данный метод предполагает статистическую агрегацию результатов расчетов, построение региональных, национальной и межрегиональной таблиц «затраты – выпуск» и структурный анализ полученных таблиц, включающий построение региональных леонтьевских мультипликаторов. С помощью предложенного метода изучено влияние величины транспортных издержек на географическую структуру товарных потоков. Результаты экспериментов подтвердили, что при росте транспортных затрат экономические агенты предпочитают взаимодействовать с ближе расположенными агентами, что приводит к сокращению межрегионального обмена продуктами и экономическому «замыканию» регионов.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, таблица «затраты – выпуск», межрегиональные связи, транспортные издержки.

Введение

Данная статья является продолжением опубликованной в предыдущем номере журнала работы [1], в которой была представлена модель АОМММ во взаимосвязи с действующей малоразмерной версией оптимизационной многорегиональной межотраслевой модели (ОМММ) [2]. В АОМММ используется информация о межотраслевых связях и технологиях производства, полученная из ОМММ, которая, в свою очередь, воспроизводит данные статистики национальных счетов Российской Федерации по состоянию на 2010 г. Дополнительную информацию об АОМММ см. в работах [3–5]. Структура взаимосвязей агентов в этой модели представлена в первой части статьи (см. [1. С. 90, рис. 3]).

В части детализации экономических взаимодействий агент-ориентированное моделирование обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с другими подходами. Принци-

Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Часть 2. Межрегиональный анализ в искусственной экономике // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 2. С. 15–25.

пиальное обоснование метода часто строится на критике концепции обобщенного «агента-представителя», широко используемой в макроэкономическом моделировании. Однако по мере развития метода агент-ориентированного моделирования обнаруживается, что указанные преимущества оборачиваются проблемами обобщения и осмысления полученных результатов. Исследователи предлагают разные пути для снижения уровня детализации решения модели. Ассендза и Делли Гатти [6] снижают размерность получаемого решения, заново конструируя агента-представителя. Полученное распределение характеристик агентов заменяется его моментами первого и более высоких порядков, а среднее и вариация распределения играют роль макроэкономических переменных.

Другой путь – совместное использование макроэкономического и агент-ориентированного моделирования – предложен Холмгрен и др. [7] для анализа решений в области грузового транспорта. Исследователи предлагают три возможных подхода: 1) обмен данными между последовательно реализуемыми макромоделями и АОМ; 2) параллельная имитация на моделях обоих уровней и сопоставительный анализ результатов; 3) интеграция макроэкономического и агентного уровней в одной модели. По первому пути комбинирования моделей пошли Олива, Панцери и Сетола [8], предложив агент-ориентированную модель межотраслевой взаимозависимости, в которой происходит обмен ресурсами между различными видами инфраструктуры и на этой основе оцениваются леонтьевские коэффициенты, используемые далее в межотраслевой модели неработоспособности инфраструктуры.

Модель АОМММ способна предоставить пользователю огромный массив детальной информации, поступающей от большого количества разнородных агентов, размещенных в пространстве, что также ставит проблему анализа результатов работы модели и обобщения полученных данных. Для отслеживания процессов, происходящих в реальной экономике, аналитик использует разного рода статистическую информацию, предоставляемую обычно государственным статистическим ведомством. Статистический орган собирает информацию у различных агентов экономики и рассчитывает некоторые обобщающие показатели, например объемы производства по отраслям, средние цены на товары некоторой категории и т. п. Аналогичный подход следует применить и в рамках АОМ.

Сбор и обработка информации в вычислимой модели имеет ряд особенностей. В отличие от реальной статистики информация о процессах в искусственной экономике, во-первых, достоверна (агенты реализуются в виде компьютерных алгоритмов, которые могут аккуратно собирать и передавать нужную информацию, в то время как в жизни агенты могут намеренно или ненамеренно искажать информацию), во-вторых, полна (при желании можно отслеживать любой количественный социально-экономический показатель, даже такой, который в реальной жизни не может быть рассчитан государственным статистическим ведомством), и, в-третьих, ее сравнительно легко обработать.

Кроме того, как правило, делаются различные модельные упрощения, которые одновременно упрощают и обработку статистической информации. Например, товары в модели, как правило, однородны, что снимает проблему несопоставимости. Ограничения в сборе информации по модели относятся к хранению и времени обработки. Если объем информации слишком большой, то это может существенно замедлить время расчетов по модели или такая информация может не поместиться в имеющейся компьютерной памяти.

Данная статья посвящена методам обработки результатов экспериментов, проведенных на базе пространственной экономической АОМ.

Агент-ориентированное моделирование представляет собой многообещающую альтернативу традиционным и уже устоявшимся методам экономического анализа, предоставляет новые интересные возможности. В то же время, как мы считаем, альтернативные подходы – агент-ориентированный и подход «затраты – выпуск», не противоречат друг другу и могут быть интегрированы.

С одной стороны, модель «затраты – выпуск» можно использовать как источник дезагрегированной информации на этапе инициализации АОМ, что открывает перспективы постепенного превращения АОМ из инструмента анализа искусственной экономики в экспериментальный полигон реальной экономики (подробнее об этом см.: [1]). С другой стороны, экономическая АОМ поставляет дезагрегированную информацию о множестве экономических агентов, подобную той, что обеспечивается оперативной статистической отчетностью

в реальной экономике, и подход «затраты – выпуск» (далее ЗВ) может дать эффективные инструменты агрегирования и анализа этой информации. Используя названный подход, аналитик может построить национальную, региональные и межрегиональную таблицы ЗВ для искусственной экономики и изучить ее свойства классическими методами, такими как структурный анализ, пространственный анализ, анализ межрегиональных взаимодействий.

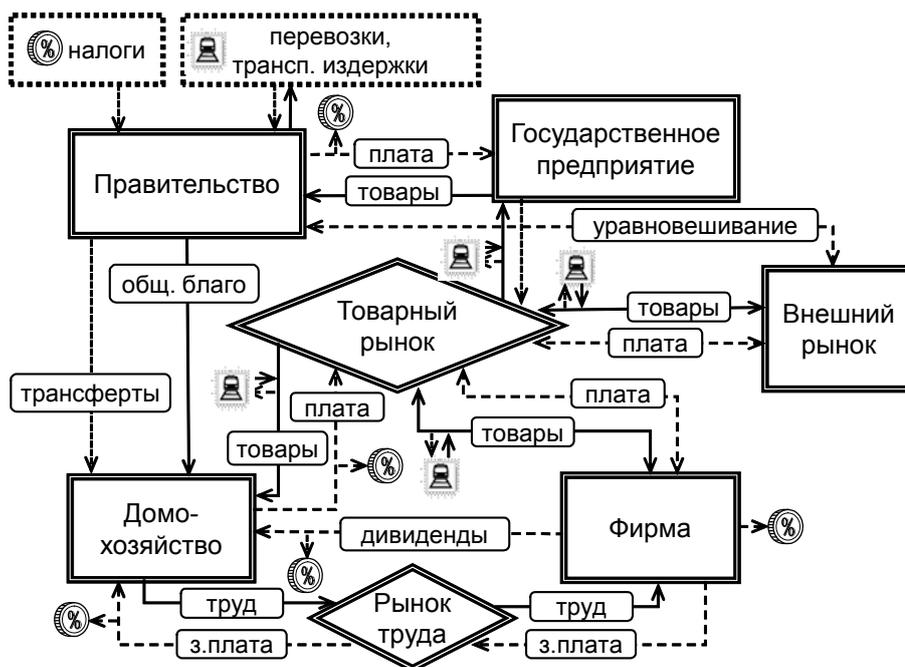
Чтобы показать возможности такого анализа, мы провели эксперимент и проанализировали его результаты с помощью предложенного подхода. Общая идея эксперимента состояла в исследовании влияния «сопротивления пространства» (измеряемого уровнем транспортных затрат) на связность многорегиональной экономики.

Межрегиональные межотраслевые таблицы

При анализе работы экономической АОМ, особенно если она включает несколько отраслей и несколько регионов, интерес могут представлять не только показатели, которые агрегируют информацию по группам агентов (например, доходы домохозяйств, объем производства в некоторой отрасли), но и показатели, которые описывают взаимодействия между парами групп агентов. В частности, можно изучать потоки продуктов внутри экономики (в том числе межрегиональные). Естественным инструментом такого анализа являются различные таблицы ЗВ.

Рассмотрим технологию заполнения таблиц ЗВ в рамках АОМММ. Заметим, что при составлении таких таблиц в экономической АОМ мы потенциально можем учесть любую нужную транзакцию и занести ее в соответствующую клетку таблицы.

Для иллюстрации дальнейших рассуждений повторим здесь рисунок из первой части статьи. Стрелки со сплошными линиями, выходящие из фигуры «Товарный рынок», соответствуют покупкам, а стрелки со сплошными линиями, входящие в эту фигуру, – продажам. Каждой стрелке со сплошной линией соответствует стрелка в противоположном направлении с пунктирной линией – плата за товар. Когда транзакция проходит через товарный рынок, соответствующая сумма (не включающая затраты на транспорт) добавляется в клетку таблицы ЗВ на пересечении строки продавца и столбца покупателя. Продавцами могут являться фирмы или внешние рынки («Импорт»). Покупателями могут являться фирмы, государственные предприятия, домохозяйства или внешние рынки («Экспорт»).



Основные агенты и их взаимосвязи в АОМММ

При заполнении таблицы ЗВ мы исходим из того, что транспорт оплачивает покупатель. Соответственно, оплата услуг транспорта вносится в ячейку на пересечении строки сектора 4 («Транспорт») и столбца покупателя. На рисунке около сплошных линий, соответствующих покупкам товаров, помещены пиктограммы «Транспорт», и стрелками изображены предоставление услуг транспорта и соответствующая плата.

Производство общественных благ оплачивается федеральными и региональными правительствами. Соответствующая сумма добавляется в клетку таблицы ЗВ на пересечении строки общественных благ и столбца правительства.

Вместо налога на добавленную стоимость в модели используется похожий налог на конечное потребление. Этот налог платят домохозяйства и правительства. (Налог на экспорт нулевой.) Налог добавляется в клетку на пересечении строки «НДС» (то же, что «Чистые налоги на продукты» в стандартной таблице ЗВ) и столбца во втором квадранте, соответствующего агенту, потребляющему товар.

Остальные строки таблицы (третий квадрант) относятся к добавленной стоимости. В строку «Оплата труда» добавляется заработная плата, включающая подоходный налог и социальные взносы. Это относится и к обычным фирмам, и к государственным предприятиям. В строку «Субсидии(-)» добавляются государственные субсидии фирмам со знаком «минус». В строку «Валовая прибыль» добавляются операционные доходы фирм без разбиения на направления дальнейшего использования (такие как налог на прибыль и дивиденды, с соответствующим подоходным налогом).

Заметим, что в текущем варианте АОМММ не учитываются инвестиции, поэтому соответствующий столбец в таблице ЗВ отсутствует. При наличии инвестиций следует отличать покупку фирмой обычных товаров (сырья, материалов и т. п.) от покупки основных фондов, поскольку они учитываются в разных частях таблицы (в первом и втором квадрантах соответственно).

Таблица ЗВ может служить инструментом структурного анализа результатов расчетов по АОМ, пример чего приведен далее. С другой стороны, эта таблица может служить средством отладки компьютерного кода модели. Расчеты сумм по строкам и столбцам ведутся по разным принципам независимо друг от друга, но в результате они должны совпадать (как, например, в табл. 1). Если какие-то операции учитываются неправильно, то суммы не совпадут, и это сигнализирует о том, что надо искать ошибку в программе.

Влияние транспортных издержек

Основной особенностью АОМММ является учет пространственного размещения агентов, и нас прежде всего интересует межрегиональный аспект модели. Поэтому мы проведем анализ межрегиональных таблиц без разбиения на секторы. Для этого агрегируем блок производственного потребления. Пусть вся экономика состоит из одной отрасли. Конечный спрос будет включать в себя конечное потребление и экспорт. Производство продукции региона будет требовать следующих затрат (по столбцу): продукция собственного производства; продукция, ввозимая из двух других регионов; импорт из-за рубежа и затраты труда и капитала. Продукция региона будет потребляться в следующих целях (по строке): для собственного производства; на вывоз для производственного потребления в другой части страны, для конечного потребления и на экспорт за рубеж. Соответствующий пример, обобщающий один из экспериментов с моделью, приведен в табл. 1.

Мы хотим исследовать влияние транспортных издержек на товарные потоки, табл. 1 соответствует базовому уровню издержек, который выбран на основе данных малоразмерной ОМММ. Кроме этого рассмотрим случай нулевых и высоких транспортных издержек (в три раза выше базового уровня). Такой анализ можно провести, сравнивая таблицы ЗВ для разных уровней издержек. При этом возникает проблема несопоставимости цен в этих таблицах. С другой стороны, мы можем проанализировать структуру взаимодействий, рассматривая разбиение валового продукта по направлениям использования в процентах.

Аналог табл. 1 дан в табл. 2. Рассматривается только использование, т. е. 3-й квадрант таблицы отсутствует. Можно увидеть, что выделяются две «диагонали», соответствующие

Таблица 1

Таблица «затраты – выпуск»: межотраслевые и межрегиональные потоки

	Промежуточный спрос															Конечное использование							Итого выпуск		
	Запад					Центр					Восток					С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во		Экс-порт	Итого к. исп.
	С.1	С.2	С.3	С.5	С.1	С.2	С.3	С.5	С.1	С.2	С.3	С.5	Запад	Центр	Восток										
С.1	0.8	67.3	0.0	3.2	3.4	27.8	0.0	2.1	0.0	6.9	0.0	1.4	0.0	10.1	122.9	2.7	1.3	0.6	0.0	0.3	5.0	127.9			
С.2	22.3	243.2	78.4	174.8	68.6	86.2	57.7	109.9	0.0	13.3	16.2	50.3	247.1	361.6	1529.5	600.9	410.2	217.7	0.0	34.3	1263.1	2792.6			
С.3	12.4	58.6	0.0	43.0	14.6	14.5	0.0	8.6	0.0	0.5	0.0	0.7	40.2	69.8	262.9	94.9	23.1	1.7	0.0	0.9	120.6	383.6			
С.5	13.1	176.0	27.8	66.8	17.3	17.8	8.8	14.6	0.0	0.4	0.4	0.8	53.9	78.4	476.1	884.8	256.5	18.6	0.0	1.0	1160.9	1637.0			
С.1	1.4	167.9	0.0	9.4	13.1	114.3	0.0	9.4	0.0	28.2	0.0	5.8	0.0	27.6	377.2	11.5	9.9	4.9	0.0	2.3	28.7	405.8			
С.2	11.8	113.1	37.3	82.8	40.2	55.8	35.7	69.2	0.0	9.8	11.1	35.6	139.5	204.1	845.9	215.9	193.2	116.0	0.0	18.9	544.0	1389.9			
С.3	2.5	13.0	0.0	8.3	28.6	59.1	0.0	31.7	0.0	3.2	0.0	4.3	28.1	49.1	228.1	13.4	52.9	8.0	0.0	0.7	75.0	303.1			
С.5	2.8	32.4	4.8	12.3	22.5	51.3	18.5	31.8	0.0	1.5	1.0	3.8	39.3	56.1	278.1	142.8	467.1	62.9	0.0	0.4	673.3	951.3			
С.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
С.2	2.2	19.7	6.2	14.7	7.4	10.7	6.5	12.3	0.0	3.5	4.0	12.2	34.9	51.1	185.5	42.4	40.0	43.7	0.0	4.9	131.1	316.5			
С.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	1.8	0.0	0.6	0.0	16.7	0.0	20.2	7.6	13.3	60.7	0.2	1.6	35.7	0.0	0.6	38.0	98.7			
С.5	0.0	0.5	0.1	0.2	1.2	3.2	0.6	1.4	0.0	10.8	8.1	18.3	14.5	21.0	80.0	3.5	25.4	365.3	0.0	1.1	395.2	475.3			
С.4	8.2	123.1	10.2	34.7	25.4	78.1	9.8	28.9	0.0	25.2	5.2	22.6	15.1	29.6	416.0	212.9	189.8	145.4	0.0	27.6	575.7	991.7			
Фед. о.б.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2168.6	0.0	2168.6	2168.6			
Итого внут. потр.	77.7	1014.7	164.7	450.3	242.7	520.6	137.6	320.4	0.0	120.0	46.0	175.9	620.3	971.9	4862.7	2226.0	1671.1	1020.4	2168.6	93.1	7179.2	12041.9			
С.1	0.0	1.4	0.0	0.2	0.1	0.7	0.0	0.1	0.0	0.7	0.0	0.2	0.0	0.3	3.8	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.7	4.4			
С.2	0.6	5.6	1.8	4.0	1.8	2.3	1.5	2.6	0.0	0.5	0.7	2.1	8.9	12.7	45.1	7.8	5.9	5.1	0.0	0.0	18.9	63.9			
С.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	2.1	1.8	1.4	1.0	0.0	0.0	4.2	6.3			
С.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	10.9	1.4	1.0	0.6	0.0	0.0	3.0	13.9			
С.5	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	1.4	2.8	3.0	1.6	2.5	0.0	0.0	7.1	9.9			
Итого использ.	78.3	1022.0	166.5	454.8	244.6	523.7	139.1	323.2	0.0	121.3	46.7	178.6	641.4	987.0	4927.4	2240.3	1681.2	1029.8	2168.6	93.1	7213.0	12140.4			
НДС	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	403.3	302.6	185.4	390.3	0.0	1281.6	1281.6			
Оплата труда	18.6	537.6	110.9	576.9	60.3	277.0	87.9	365.0	0.0	64.6	27.1	184.5	356.0	1181.6	3848.1										
Субсидии(-)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.8	0.0	-5.8										
Вал. прибыль	31.0	1233.0	106.1	605.2	100.9	589.2	76.1	263.2	0.0	130.5	25.0	112.2	0.0	0.0	3272.3										
Итого доб.ст.	49.6	1770.6	217.0	1182.1	161.2	866.2	163.9	628.1	0.0	195.2	52.1	296.7	350.2	1181.6	7114.6										
Итого выпуск	127.9	2792.6	383.6	1637.0	405.8	1389.9	303.1	951.3	0.0	316.5	98.7	475.3	991.7	2168.6	12041.9										

Условные обозначения: С.1 – добыча, С.2 – обработка, С.3 – строительство, С.4 – транспорт, С.5 – услуги, «Фед.о.б.» – федеральное общественное благо.

Таблица 1

Таблица «затраты – выпуск»
Случай базового уровня транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование						Итого выпуск
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт	Итого к. исп.	
							Запад	Центр	Восток				
Запад	987.7	451.8	90.7	341.2	519.9	2391.4	1583.4	691.1	238.6	0.0	36.6	2549.6	4941.0
Центр	499.8	581.2	104.4	206.9	336.9	1729.2	383.6	723.2	191.8	0.0	22.4	1321.0	3050.1
Восток	43.8	46.0	93.8	57.1	85.4	326.2	46.1	67.0	444.7	0.0	6.6	564.3	890.5
С.4	176.1	142.2	53.0	15.1	29.6	416.0	212.9	189.8	145.4	0.0	27.6	575.7	991.7
Фед. о.б.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2168.6	0.0	2168.6	2168.6
Итого внут. потр.	1707.4	1221.2	341.9	620.3	971.9	4862.7	2226.0	1671.1	1020.4	2168.6	93.1	7179.2	12041.9
Импорт	14.3	9.4	4.7	21.1	15.1	64.6	14.3	10.1	9.4	0.0	0.0	33.8	98.5
Итого использ.	1721.7	1230.6	346.6	641.4	987.0	4927.4	2240.3	1681.2	1029.8	2168.6	93.1	7213.0	12140.4
НДС	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	403.3	302.6	185.4	390.3	0.0	1281.6	1281.6
Оплата труда	1244.1	790.1	276.2	356.0	1181.6	3848.1							
Субсидии(-)	0.0	0.0	0.0	-5.8	0.0	-5.8							
Вал. прибыль	1975.2	1029.4	267.7	0.0	0.0	3272.3							
Итого доб.ст.	3219.3	1819.5	543.9	350.2	1181.6	7114.6							
Итого выпуск	4941.0	3050.1	890.5	991.7	2168.6	12041.9							

Таблица 2

Структура использования валового продукта
Случай базового уровня транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование						Итого выпуск
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт	Итого к. исп.	
							Запад	Центр	Восток				
Запад	20.0%	9.1%	1.8%	6.9%	10.5%	48.4%	32.0%	14.0%	4.8%	0.0%	0.7%	51.6%	100.0%
Центр	16.4%	19.1%	3.4%	6.8%	11.0%	56.7%	12.6%	23.7%	6.3%	0.0%	0.7%	43.3%	100.0%
Восток	4.9%	5.2%	10.5%	6.4%	9.6%	36.6%	5.2%	7.5%	49.9%	0.0%	0.7%	63.4%	100.0%
С.4	17.8%	14.3%	5.3%	1.5%	3.0%	41.9%	21.5%	19.1%	14.7%	0.0%	2.8%	58.1%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	14.2%	10.1%	2.8%	5.2%	8.1%	40.4%	18.5%	13.9%	8.5%	18.0%	0.8%	59.6%	100.0%

Таблица 3

Структура использования валового продукта
Случай нулевых транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование						Итого выпуск
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт	Итого к. исп.	
							Запад	Центр	Восток				
Запад	16.6%	12.9%	4.5%	2.2%	11.5%	47.7%	23.0%	17.4%	10.5%	0.0%	1.4%	52.3%	100.0%
Центр	21.9%	16.4%	5.3%	1.8%	10.7%	56.1%	18.2%	13.8%	8.2%	0.0%	3.7%	43.9%	100.0%
Восток	11.8%	8.9%	3.1%	1.7%	8.5%	34.0%	29.6%	22.3%	13.3%	0.0%	0.8%	66.0%	100.0%
С.4	24.3%	17.8%	5.6%	1.5%	10.0%	59.3%	16.7%	12.6%	7.6%	0.0%	3.9%	40.7%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	14.9%	11.3%	3.8%	1.6%	8.9%	40.6%	17.8%	13.5%	8.1%	18.2%	1.8%	59.4%	100.0%

Таблица 4

Структура использования валового продукта
Случай высоких транспортных издержек

	Промежуточный спрос						Конечное использование					Итого выпуск	
	Запад	Центр	Восток	С.4	Фед. о.б.	Итого пр.спрос	Домохозяйства			Фед. пр-во	Экспорт		Итого к. исп.
							Запад	Центр	Восток				
Запад	23.2%	7.2%	1.1%	9.8%	10.3%	51.6%	35.0%	10.0%	3.0%	0.0%	0.4%	48.4%	100.0%
Центр	14.2%	23.0%	3.3%	9.1%	10.3%	59.8%	6.9%	28.2%	4.7%	0.0%	0.4%	40.2%	100.0%
Восток	1.8%	3.0%	14.6%	6.3%	6.3%	32.0%	2.0%	4.1%	61.2%	0.0%	0.7%	68.0%	100.0%
С.4	19.2%	16.4%	6.1%	1.5%	2.0%	45.3%	20.1%	19.3%	13.8%	0.0%	1.6%	54.7%	100.0%
Фед. о.б.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100.0%	100.0%
Итого внут. потр.	15.0%	10.7%	3.0%	6.8%	7.4%	42.8%	18.0%	13.5%	8.3%	17.0%	0.5%	57.2%	100.0%

потреблению продукта фирмами и домохозяйствами домашнего региона. Так, 20 % валового выпуска, производимого в регионе «Запад», потребляется в производстве фирмами того же региона, а 32 % используются местными домохозяйствами. В то же время на «Востоке» лишь 10,5 % валового выпуска используется местными производителями, и 49,9 % идут на удовлетворение конечного спроса домохозяйств на территории региона.

Установление транспортных издержек на нулевом уровне приводит к тому, что использование более равномерно распределяется по группам регионов-потребителей (табл. 3). Главные диагонали теперь не выделяются максимальными значениями. Агентам становится безразлично, при прочих равных условиях, покупать товар в домашнем регионе или в другом. Например, домохозяйство из Калининграда может покупать товары, производимые фирмами из Владивостока.

Напротив, в условиях высоких транспортных издержек агенты предпочитают покупать продукты своего региона. Преобладающая часть закупок концентрируется на главных диагоналях таблицы ЗВ. Теперь фирмы и домохозяйства «Запада» потребляют уже по 23,2 и 35 % выпуска, производимого фирмами своего региона, а соответствующие цифры на «Востоке» достигают 14,6 и 61,2 % (табл. 4). Таким образом, изучение таблиц ЗВ подтвердило, что изменение величины транспортных издержек влияет на структуру использования продукции региона ожидаемым образом: при увеличении транспортных издержек наблюдается тенденция к автаркии регионов, когда продукция потребляется в основном внутри региона.

Анализ мультипликаторов

Полученные выводы подтверждаются анализом межрегиональных коэффициентов леонтьевского матричного мультипликатора $(I-A)^{-1}$, где I – единичная матрица, A – матрица прямых материальных затрат. Являясь отношением валового выпуска к конечному спросу, обратная матрица характеризует прямые и косвенные эффекты в экономике в результате изменений в конечном спросе. Прирост конечного спроса дает импульс росту производства через механизм прямых и обратных взаимосвязей между экономическими агентами в процессе производства и потребления. Вычисление коэффициентов $(I-A)^{-1}$ позволяет оценивать и анализировать мультипликативное влияние различных событий на экономику.

Леонтьевские мультипликаторы, построенные на основе межрегиональной односекторной таблицы ЗВ, учитывают эффекты межрегиональных связей. Они позволяют оценить для каждого региона, как прирост конечного спроса на его продукцию повлияет на экономику этого региона, на экономику остальной части страны и на экономику страны в целом. Эти мультипликаторы называются «региональный мультипликатор», «межрегиональный мультипликатор» («мультипликатор межрегионального перелива») и «национальный мультипликатор». Чем выше транспортные издержки, тем выше региональные (расположенные по диагонали) коэффициенты и ниже межрегиональные (внедиагональные) коэффициенты взаимодействия.

Приведем пример мультипликаторов межрегиональных взаимодействий в случае базового уровня транспортных издержек:

	Запад	Центр	Восток
Запад	1.31	0.27	0.22
Центр	0.18	1.29	0.21
Восток	0.02	0.03	1.13
Всего	1.51	1.60	1.56

В 1-м столбце региональный мультипликатор 1,31 показывает, насколько должен вырасти валовой выпуск продукции в регионе «Запад», если конечный спрос на продукцию этого региона вырастет на единицу. Сумма коэффициентов 0,18 и 0,02 дает значение межрегионального мультипликатора. Это означает, что при росте конечного спроса на продукцию «Запада» на единицу валовой выпуск в остальной части страны увеличивается на 0,2. Сумма коэффициентов по первому столбцу, равная 1,51, – это национальный мультипликатор; он показывает, насколько вырастает валовой выпуск в экономике РФ при том же предположении. Сравнение столбцов таблицы выявляет, что «Восток» наиболее зависим от межрегиональных поставок (имея самый высокий межрегиональный мультипликатор 0,43), а «Запад» – наиболее самодостаточен (имея самый высокий региональный мультипликатор 1,31).

Аналогичный анализ мультипликаторов межрегиональных взаимодействий для случаев нулевых и высоких транспортных издержек дал следующие результаты.

Случай нулевых транспортных издержек:

	Запад	Центр	Восток
Запад	1.28	0.29	0.32
Центр	0.26	1.27	0.29
Восток	0.04	0.04	1.05
Всего	1.58	1.60	1.66

Случай высоких транспортных издержек:

	Запад	Центр	Восток
Запад	1.37	0.26	0.19
Центр	0.19	1.36	0.23
Восток	0.01	0.02	1.18
Всего	1.57	1.64	1.60

Снижение транспортных издержек до нуля приводит к уменьшению региональных мультипликаторов и росту межрегиональных, что свидетельствует об усилении взаимных поставок регионов. В целом возрастают национальные мультипликаторы «Запада» и «Востока» (с 1,51 и 1,56 до 1,58 и 1,66 соответственно) при сохранении значения мультипликатора «Центра» на уровне 1,6. Это означает, что поскольку эффективность межрегиональных закупок выросла, то в конечном спросе на продукцию региона доля внешнего спроса стала существенно выше. Поэтому для удовлетворения конечного спроса на свою продукцию регионы «Запад» и «Восток» должны увеличить объемы выпуска по сравнению с базовым случаем.

Повышение транспортных издержек производит обратный эффект. Интенсивность взаимных поставок, измеряемая межрегиональными мультипликаторами, ослабевает, усиливается самодостаточность регионов (региональные коэффициенты возрастают до 1,37, 1,36 и 1,18). Теперь, в ответ на рост конечного спроса на продукцию, происходит рост выпуска, в основном в данном регионе, а доля внешних закупок сокращается. Это свидетельствует об автаркизации трехрегиональной экономики.

Заключение

Наше исследование демонстрирует возможности пространственного анализа, предоставляемые агент-ориентированной многорегиональной моделью «затраты – выпуск» российской экономики. Мы предложили метод обобщения результатов симуляции модели, включающий в себя статистическую агрегацию результатов расчетов, построение региональных, национальной и межрегиональной таблиц «затраты – выпуск» и структурный анализ полученных таблиц.

Результаты экспериментов по изменению величины транспортных издержек подтвердили, что этот показатель влияет на структуру использования продукции региона ожидаемым образом. В случае нулевых транспортных издержек структура использования продукции существенно различается по принадлежности потребителя продукции к конкретному региону. При увеличении транспортных издержек наблюдается тенденция к автаркии регионов, когда продукция потребляется в основном внутри региона.

Данные выводы подтверждаются также анализом региональных леонтьевских мультипликаторов: чем выше транспортные издержки, тем выше региональные коэффициенты и ниже межрегиональные коэффициенты взаимодействия.

Примененные в данном исследовании методы позволяют моделировать и анализировать различные экономические явления, связанные с потоками продукции внутри экономики. Одним из перспективных направлений дальнейших исследований могут быть эксперименты в русле новой теории торговли и новой экономической географии; см., например, [9]. Один из интересных наблюдаемых в жизни эффектов – так называемая внутриотраслевая торговля, когда близкие товары перевозят навстречу друг другу. Обычно этот феномен упоминают в контексте международной торговли, но он наблюдается и в товарных потоках внутри одной страны: товар, производимый в регионе А, может потребляться в регионе Б, и одновременно такой же по названию товар, производимый в регионе Б, может потребляться в регионе А. В новой теории торговли этот эффект получают на основе возрастающей отдачи от масштаба и стремления покупателей к разнообразию в рамках модели Диксита – Стиглица. В экспериментах, рассмотренных в данной статье, мы наблюдали ненулевую внутриотраслевую торговлю даже при высоких транспортных издержках, поскольку стремление к разнообразию встроено в АОМММ. В то же время требуется дальнейшее развитие этой модели для учета мобильности производства и возрастающей отдачи (сейчас в АОМММ используются леонтьевские технологии с постоянной отдачей).

Представляется также, что модель с межотраслевой структурой типа АОМММ может быть подходящим средством для изучения проблемы возникновения агрегированных флуктуаций, поставленной в работе [10], с помощью многоотраслевой динамической модели вычислимого общего равновесия. Оказалось, что топология сети, образованной цепочками межотраслевых связей, а именно наличие поставщиков, значимых для большинства отраслей, серьезно влияет на флуктуационные свойства всей системы, так что микрошоки на уровне фирм могут приводить к потрясениям на макроуровне.

В целом можно утверждать, что агент-ориентированные модели, включающие блок мониторинга пространственных взаимодействий агентов на основе отчетных таблиц ЗВ, обладают большим потенциалом для исследования изменения макропоказателей экономической системы в результате изменения поведения отдельных агентов.

Список литературы

1. Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Часть 1. Методологические основы // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 86–99.

2. Гамидов Т. Г., Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М. Равновесные состояния открытой межрегиональной системы, порожденной оптимизационной межрегиональной межотраслевой моделью // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Социально-экономические науки. 2013. Т. 13, № 3. С. 81–94.

3. Суслов В. И., Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Костин В. С., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. Опыт агент-ориентированного моделирования пространственных процессов в большой экономике // Регион: экономика и социология. 2014. № 4. С. 32–54.
4. Суслов В. И., Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Костин В. С., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А. Агент-ориентированная многорегиональная модель «затраты – выпуск» российской экономики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52, № 1. С. 112–131.
5. Суслов В. И., Новикова Т. С., Цыплаков А. А. Моделирование роли государства в пространственной агент-ориентированной модели // Экономика региона. 2016. Т. 12, вып. 3. С. 951–965.
6. Assenza T., Delli Gatti D. E pluribus unum: Macroeconomic modelling for multi-agent economies // Journal of Economic Dynamics and Control. 2013. Vol. 37, iss. 8. P. 1659–1682.
7. Holmgren J., Ramstedt L., Davidsson P., Edwards H., Persson J. A. Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis // Procedia Computer Science. 2014. Vol. 32. P. 380–387.
8. Oliva G., Panzieri S., Setola R. Agent-based input-output interdependency model // International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2010. Vol. 3, iss. 2. P. 76–82.
9. Combes P.-P., Mayer T., Thisse J.-F. Economic geography: The integration of regions and nations. Princeton: Princeton University Press, 2008. 416 p.
10. Acemoglu D., Carvalho V. M., Ozdaglar A., Tahbaz-Salehi A. The network origins of aggregate fluctuations // Econometrica. 2012. Vol. 80. P. 1977–2016.

Материал поступил в редколлегию 21.11.2016

D. A. Domozhurov, N. M. Ibragimov, L. V. Melnikova, A. A. Tsyplakov

*Novosibirsk State University
1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
17 Lavrentyev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*d.domozhurov@gmail.com, naimdjon.ibragimov@gmail.com
melnikova@ieie.nsc.ru, tsy@academ.org*

INTEGRATION OF INPUT – OUTPUT APPROACH INTO AGENT-BASED MODELING. PART 2. INTERREGIONAL ANALYSIS IN AN ARTIFICIAL ECONOMY

The article demonstrates the possibilities of spatial analysis provided by the Agent-Based Multi-regional Input – Output Model (ABMIOM) of the Russian economy. The basic hypothesis of the ABMIOM is that agents' decisions at the microeconomic level lead to spatial changes at the macro level. Confirmation of this hypothesis requires experimental calculations with changes in various parameters that influence agents' decisions (such as prices, taxes, tariffs, etc.). Analyzing the results of these calculations requires moving from microeconomic data to the macro level. The paper proposes a method for the structural analysis of the model simulation results using input-output tables. The method involves statistical aggregation of calculation results, construction of regional, national and interregional input-output tables and structural analysis of the obtained tables including calculation of regional Leontief multipliers. The method proposed is used to study the influence of the level of transport costs on the geographical structure of trade flows. The results of the experiments confirmed that with the increase of transportation costs economic agents prefer to interact with nearest agents, which leads to a decreased interregional commodity exchange and to economic «insulation» of the regions.

Keywords: agent-based model, input-output table, interregional links, transportation costs.

References

1. Domozhiron D. A., Ibragimov N. M., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Intgratsiya podkhoda “zatraty–vypusk” v agentno-orientirovannoe modelirovanie: Metodologicheskiye osnovy [Integration of Input – Output Approach into Agent-Based Modeling: Methodological Principles]. *Mir ekonomiki i upravleniya* [World of Economics and Management], 2017, vol. 17, no. 1, p. 86–99. (In Russ.)
2. Gamidov T. G., Domozhiron D. A., Ibragimov N. M. Ravnovesnye sostoyaniya otkrytoy mezhregional'noy sistemy, porozhdennoy optimizatsi-onnoy mezhregional'noy mezhotraslevooy model'yu [Equilibrium States of an Open Interregional System Generated by a Optimization Input-Output Model]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta* [*Vestnik of Novosibirsk State University. Socio-Economic Series*], 2013. vol. 13, no. 3, p. 81–94. (In Russ.)
3. Suslov V. I., Domozhiron D. A., Ibragimov N. M., Kostin V. S., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Opyt agent-orientirovannogo modeli-rovaniya prostranstvennykh protsessov v bol'shoy ekonomike [Agent-Based Modeling Spatial Processes in the Large Economy]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [*Region: Economics and Sociology*], 2014, no. 4, p. 32–54. (In Russ.)
4. Suslov V. I., Domozhiron D. A., Ibragimov N. M., Kostin V. S., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Agent-orientirovannaya mnogoregio-nal'naya model' «zatraty – vypusk» rossiyskoy ekonomiki [Agent-Based Multiregional Input-Output Model of the Russian Economy]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [*Economics and Mathematical Methods*], 2016, vol. 52, no. 1, p. 112–131. (In Russ.)
5. Suslov V. I., Novikova T. S., Tsyplakov A. A. Modelirovanie roli gosudarstva v prostranstvennoy agent-orientirovannoy modeli [Simulation of the Role of Government in Spatial Agent-Based Model]. *Ekonomika regiona* [*Economy of Region*], 2016, vol. 12, iss. 3, p. 951–965. (In Russ.)
6. Assenza T., Delli Gatti D. E pluribus unum: Macroeconomic modelling for multi-agent economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2013, vol. 37, iss. 8, p. 1659–1682.
7. Holmgren J., Ramstedt L., Davidsson P., Edwards H., Persson J. A. Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis. *Procedia Computer Science*, 2014, vol. 32, p. 380–387.
8. Oliva G., Panzieri S., Setola R. Agent-based input–output interdependency model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2010, vol. 3, iss. 2, p. 76–82.
9. Combes P.-P., Mayer T., Thisse J.-F. *Economic geography: The integration of regions and nations*. Princeton: Princeton University Press, 2008, 416 p.
10. Acemoglu D., Carvalho V. M., Ozdaglar A., Tahbaz-Salehi A. The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 2012, vol. 80, p. 1977–2016.

For citation:

Domozhiron D. A., Ibragimov N. M., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A. Integration of Input – Output Approach into Agent-Based Modeling. Part 2. Interregional Analysis in an Artificial Economy. *World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 2, p. 15–25. (In Russ.)