

ЭНТРОПИЙНАЯ МОДЕЛЬ ВИЛЬСОНА ДЛЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Анотація. У статті розглядається моделювання міжрегіональних зв'язків, що розуміються, як інтенсивність торгівельних потоків. На основі підходу ентропійного моделювання, який був запропонований А. Дж. Вільсоном для складних систем в умовах неповної інформації, формулюється задача умовної нелінійної оптимізації. Підхід, що пропонується, застосовано до системи регіонів Далекого Сходу Росії на основі доступної статистичної інформації Росстату.

Ключові слова: ентропійне моделювання, міжрегіональний, Далекий Схід Росії.

Аннотация. В статье рассматривается моделирование межрегиональных связей, понимаемых как интенсивность торговых потоков. На основе подхода энтропийного моделирования, предложенного А. Дж. Вильсоном для сложных систем в условиях неполноты информации, формулируется задача условной нелинейной оптимизации. Предлагаемый подход применяется к системе регионов Дальнего Востока России на основе доступной статистической информации Росстата.

Ключевые слова: энтропийное моделирование, межрегиональный, Дальний Восток России.

Abstract. The modeling of interregional relations as the intensity of trade flows is submitted in the article. On the basis of entropy modeling approach proposed by Wilson for complex systems with incomplete information a constrained nonlinear optimization problem is formulated. The proposed approach is applied to the system of the Far East regions of Russia on the basis of available Rosstat statistical data.

Keywords: entropy modeling, interregional, Far East of Russia.

Введение

Рассредоточенное размещение мест проживания людей, промышленных производств и районов добычи и переработки промышленного сырья порождает возникновение различных видов транспорта и собственно системы транспортного сообщения и транспортных сетей.

Во-первых, постоянная работа транспортной системы городов, субъектов РФ и региона Дальнего Востока в целом является существенно необходимой для обеспечения безопасного и устойчивого функционирования жизнедеятельности населения региона, она позволяет обеспечивать фундаментальные экономические процессы производства и потребления. С другой стороны, транспортная система обеспечивает устойчивую работу опасных объектов, а знание особенностей, «узких мест» транспортной системы региона позволяет эффективно реагировать на потенциальные и реальные террористические угрозы и чрезвычайные ситуации (ЧС), оперативно транспортировать вооружения, людей, средства ликвидации ЧС. В-третьих, теснота межрегиональных экономических связей, влияние на нее технологических факторов производственной системы и направление движения экспортно-импортных потоков продуктов отраслей определяет устойчивое безопасное функционирование региональной экономики, в частности оказывает влияние на продовольственную безопасность и политико-экономическую целостность региона.

Работа выполнена по гранту РФФИ 13-07-12010 офи_м.

1. Транспортная система Дальнего Востока: постановка проблемы

Территория Дальнего Востока составляет 6 216 тыс. кв. км. (36,4% территории Российской Федерации), включает в себя 10 субъектов Российской Федерации – Амурская, Камчатская, Магаданская, Сахалинская области, Приморский, Хабаровский края, республика Якутия (Саха), Европейская автономная область, Чукотский и Корякский АО. Численность населения, постоянно проживающего на Дальнем Востоке, составляет около 6 млн. человек (7,8% населения страны) с преобладанием городского населения. Обширность и малонаселенность территории Дальнего Востока предопределили низкую плотность населения: на квадратный километр приходится всего 1,1 чел.

Степень интегрированности экономики субъектов Российской Федерации, расположенных на территории Дальнего Востока, можно охарактеризовать как невысокую. В большей степени интегрированы отдельные южные территории Дальнего Востока, объединенные единой транспортной и энергетической инфраструктурой.

При этом вклад экономики субъектов Российской Федерации, расположенных на территории Дальнего Востока, в экономику Российской Федерации незначителен. В то же время на территории Дальнего Востока добыча олова составляет 100%, алмазов – более 98%, золота – 67,5%, улов рыбы и добыча морепродуктов – 65% общероссийского объема.

Занимая значительную часть территории Российской Федерации, Дальний Восток имеет недостаточно развитую транспортную сеть. Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования составляет 13,8% эксплуатационной длины всех железных дорог Российской Федерации, протяженность автомобильных дорог (общего пользования и ведомственных) с твердым покрытием – 9,5% и протяженность внутренних судоходных путей – 28,7%. Плотность железнодорожных путей общего пользования в расчете на 10 тыс. кв. км в 3,6 раза меньше, чем в среднем по стране, а автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием – в 5,6 раза.

Социальное развитие и экономический рост Дальнего Востока сдерживается отсутствием потенциальных возможностей пассажирского транспорта по обеспечению необходимой подвижности населения и мобильности трудовых ресурсов. Сохраняются обширные территории с сезонной транспортной доступностью.

В целом состояние транспортного комплекса Дальнего Востока становится сдерживающим фактором в социально-экономическом развитии этой территории и требует модернизации и ускоренного развития, поскольку по основным направлениям внутренних, внешнеторговых и транзитных (российских и международных) грузопотоков практически исчерпаны резервы пропускных способностей, а в социальной сфере не обеспечен даже минимальный уровень транспортной доступности на основной части территории и должное состояние дорожной сети, существенно определяющее качество жизни в крупных городах.

Протяженный и разреженный характер транспортной сети и мест размещения производств и ресурсов, мест проживания людей на Дальнем Востоке РФ в отличие от центральной части РФ, стран Европейского Союза и США, обосновывает важность анализа особенностей транспортной сети и ее возможностей по обеспечению безопасности в современных рыночных условиях. Возникают задачи анализа факторов, влияющих на усиление или ослабление экономических связей между регионами Дальнего Востока РФ, что за невозможностью проведения «натурного эксперимента» вызывает необходимость математического моделирования.

Транспортные системы в современных условиях характеризуется независимым некооперативным поведением большого количества разнородных экономических субъектов, реализующих свои индивидуальные интересы, совместно использующих сеть автомобильного, воздушного, трубопроводного, морского, железнодорожного транспорта, как для грузовых, так и для пассажирских перевозок. Обеспечивать безопасность функционирования таких сложных объектов нормативным образом, то есть только с помощью оптимизации и планирования, в современных условиях не представляется

возможным, поскольку задержки транспорта, простои в результате чрезвычайных ситуаций или запрета перемещения грузов и пассажиров из-за оперативного реагирования на террористические угрозы приводят к потерям доходов экономических агентов.

Таким образом, задача выявления «узких мест» транспортной сети, оценка тесноты экономических связей между регионами и оценка влияния технологических факторов и внешнего влияния мирового рынка через экспортно-импортные потоки продуктов отраслей на структуру межрегиональных взаимосвязей ставит новые фундаментальные математические задачи на основе равновесных моделей, а решение подобных задач для региона Дальнего Востока РФ и в частности для Приморского края представляет собой практическую целесообразность и актуальность.

2. Модели пространственной экономики

Моделирование межрегиональных потоков в межотраслевой постановке было предложено В.В. Леонтьевым в 1963 г. в работе [1]. Исследователями международной торговли и региональной экономики развивался подход гравитационного моделирования [2] к объяснению экспортно-импортных потоков товаров и услуг в рамках многопродуктовой задачи определения равновесных потоков на транспортной сети.

А. Дж. Вильсоном был разработан общий подход энтропийного моделирования [3] для учета неполноты информации в применении к равновесному моделированию для коммуникационных систем, который был использован для моделирования межрегиональных многопродуктовых и межотраслевых потоков продуктов, размещения производств и задачам максимизации полезности. В работе Вильсона гравитационная модель для потоков оказалась естественным следствием применения принципа максимизации энтропии.

Таким образом, к концу 70-х гг. стали ясны взаимосвязи между различными независимо полученными результатами в объяснении межрегиональных взаимосвязей с учетом транспортной сети, связывающей агентов экономики.

Подход Вильсона и Леонтьева в дальнейшем развивался Бойсом и другими исследователями [4–6] для практических приложений к транспортной системе США, с учетом конкретной конфигурации транспортной сети и многомодальности потоков (перевозок различными видами транспорта). В советской транспортной науке энтропийный подход широко использовался для планирования застройки городов и размещения производств. В известных работах российских исследователей обобщаются результаты математического моделирования транспортных потоков и исследований в СССР, проводится системный анализ процессов управления и планирования на транспорте.

В России, Украине и СССР исследованиями в области транспортных систем проводились в Институте системного анализа РАН, Институте прикладной математики РАН, Институте кибернетики НАН Украины, ЦНИИП градостроительства РААСН, Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН такими учеными как Брайловский И.О., Васильева Е.М., Грановский Б.И., Лившиц В.Н., Левит Б.Ю., Персианов В.А., Попков Ю.С., Сильянов В.В., Федоров В.П., Швецов В.И., Шмутьян Б.Л. и др. [7–9].

В рамках энтропийного подхода математическая модель равновесных межрайонных потоков в многопродуктовой постановке имеет следующий вид:

$$\sum_{i,j,r} z_{ij}^r \ln \left(\frac{c_{ij}^r}{z_{ij}^r} \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^N z_{ij}^r = V_j^r, \sum_{j=1}^N z_{ij}^r = W_i^r, \quad (2)$$

где z_{ij}^r – неизвестный поток продукта r из района i в район j , c_{ij}^r – издержки на перевозку единицы продукта r из района i в района j , которые могут зависеть от расстояния, времени перевозки между районами, N – количество продуктов, V_j^r – суммарный ввоз продукта r в район j , W_i^r – суммарный вывоз продукта r из района i .

Первая группа ограничений по ввозу продуктов может иметь вид

$$\sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^N z_{ij}^r = \sum_{r=1}^R V_j^r. \quad (3)$$

Ограничения задачи могут иметь мультимодальный вид

$$\sum_{i=1}^N z_{ij}^{rk} = V_j^{rk}, \sum_{j=1}^N z_{ij}^{rk} = W_i^{rk}, k = \overline{1, M}, \quad (4)$$

где M – количество различных типов транспорта, используемых для перевозок. Ограничения задачи в межотраслевой многорегиональной постановке имеют вид

$$\sum_i x_{ij}^r = \sum_p a_j^{rp} \sum_k x_{jk}^p + y_j^r, \quad (5)$$

где x_{ij}^r – поток промежуточного продукта r из региона i в регион j , a_j^{rp} – коэффициент прямых затрат (технологический коэффициент Леонтьева) в регионе j для отраслей r и p , y_j^r – доля отрасли r в валовом региональном продукте региона j . Возможны дополнительные ограничения на суммарное производство, потребление или суммарные транспортные расходы в виде

$$\sum_{i,j} c_{ij}^r x_{ij}^r \leq C^r. \quad (6)$$

4. Опыт практического моделирования

Рассмотрим частный случай модели, описанной в работе [10]:

$$\begin{aligned} & - \sum_{p=1}^{m+1} \sum_{q=1}^{m+1} x_{pq} \ln(x_{pq} / v_{pq}) \rightarrow \max_{x_{pq}} \\ & \sum_{q=1}^{m+1} x_{iq} = a_i, \sum_{p=1}^{m+1} x_{pj} = b_j, i, j = \overline{1, m} \\ & x_{pq} \geq \varepsilon > 0; a_i, b_j \geq 0; v_{pq} = e^{-T_{pq}}; T_{pq} \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

i – регион, из которого определенный товар вывозится,

j – регион, в который товар ввозится,

a_i – суммарный вывоз товара из i региона,

b_j – суммарный ввоз товара в j регион,

T_{pq} – оценка географического расстояния между регионами i и j .

Рассматривается 9 регионов Дальнего Востока ($m = 9$) и агрегированный «внешний» регион с номером $m + 1$. Оценки расстояний от данного региона до «внешнего» региона полагались в 2 раза превышающими максимальное расстояние от данного региона до всех остальных.

Для решения задачи определения наиболее вероятных перевозок товаров между регионами Дальнего Востока России были использованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики о суммарном ввозе товаров в регионы и вывозе товаров из регионов за разные годы по 25 товарам различного назначения: продовольственные товары, топливо, товары технического назначения и другие. В качестве регионов Дальнего Востока России и их административных центров рассматривались 9 регионов: Приморский край (Владивосток), Хабаровский край (Хабаровск), Амурская область (Благовещенск), Еврейская автономная область (Биробиджан), Республика Саха – Якутия (Якутск), Магаданская область (Магадан), Сахалинская область (Южно-Сахалинск), Камчатская область (Петропавловск-Камчатский), Чукотский автономный округ (Анадырь). Часть исходных данных представлена в табл. 1, 2.

Оценки расстояний между регионами (табл. 3) задавались расстояниями между административными центрами рассматриваемых регионов по перевозкам автомобильным, морским и железнодорожным видами транспорта (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема транспортной сети Дальнего Востока России

Таблица 1 – Суммарный вывоз товаров из регионов Дальнего Востока России

Товар	Автомобильный бензин, тыс.т.	Уголь, тыс.т.	Деловая древесина, тыс. м ³	Мясо и птица, т.	Легковые автомобили, шт.
1	11,2	11,9	0,2	25,9	1175
2	507	263	47,7	431	0,01
3	0,01	495	2	2007	0,01
4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,01	3514	10	0,01	0,01
6	0,2	81,1	0,01	0,01	0,01
7	0,01	61	0,01	0,01	0,01
8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	0,01	129	0,01	0,01	0,01

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9.

Таблица 2 – Суммарный ввоз товаров в регионы Дальнего Востока России

Товар	Автомобильный бензин, тыс.т.	Уголь, тыс.т.	Деловая древесина, тыс. м ³	Мясо и птица, т.	Легковые автомобили, шт.
1	459	2179	167	662	951
2	63,5	3386	6,6	2048	1424
3	138	693	0,01	154	921
4	45,2	377	0,01	2,4	2
5	42,4	81,4	5,4	485	661
6	0,8	323	0,01	5	33
7	21,6	0,01	0,01	5	564
8	37,2	202	0,01	9,5	27
9	0,2	77,8	0,1	0,01	0,01

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9.

Таблица 3 – Оценки расстояний между регионами Дальнего Востока России, км

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	762	1410	938	3314	2490	990	2490	4490
2	762	0	779	176	2552	2534	1034	2534	4534
3	1410	779	0	603	2035	3182	1813	3182	5182
4	938	176	603	0	2376	2710	1210	2710	4710
5	3314	2552	2035	2376	0	1736	3586	2736	4736
6	2490	2534	3182	2710	1736	0	1500	1000	3000
7	990	1034	1813	1210	3586	1500	0	1500	3500
8	2490	2534	3182	2710	2736	1000	1500	0	2000
9	4490	4534	5182	4710	4736	3000	3500	2000	0

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9.

Решение задачи по каждому товару представлены в виде матрицы, каждый элемент x_{ij} которой обозначает поток товара, перевозимого из i региона в j регион (табл. 4 – 8).

Рассмотрим перевозки автомобильного бензина между регионами Дальнего Востока (рис. 2, табл. 4). Из полученного решения можно сделать вывод, что в достаточно больших количествах автомобильный бензин был перевезен из Хабаровского края в Приморский край, в меньших количествах в Амурскую область, еще меньше в Республику Саха и Камчатскую область, а также в Еврейскую автономную область и Сахалинскую область.

Бензин был также перевезен из Приморского края в Хабаровский край и Амурскую область в очень малых количествах. Из регионов, не являющихся регионами Дальнего Востока, бензин перевозили в основном в Приморский край, в меньших объемах в Хабаровский край, Амурскую область и Еврейскую автономную область.

Рассмотрим решение по перевозкам угля (табл. 5). Как видно, в основном уголь был перевезен из Республики Саха в Хабаровский, Приморский края, в меньшем объеме в Амурскую и Еврейскую области, а также в Магаданскую, Камчатскую области и в Чукотский автономный округ.

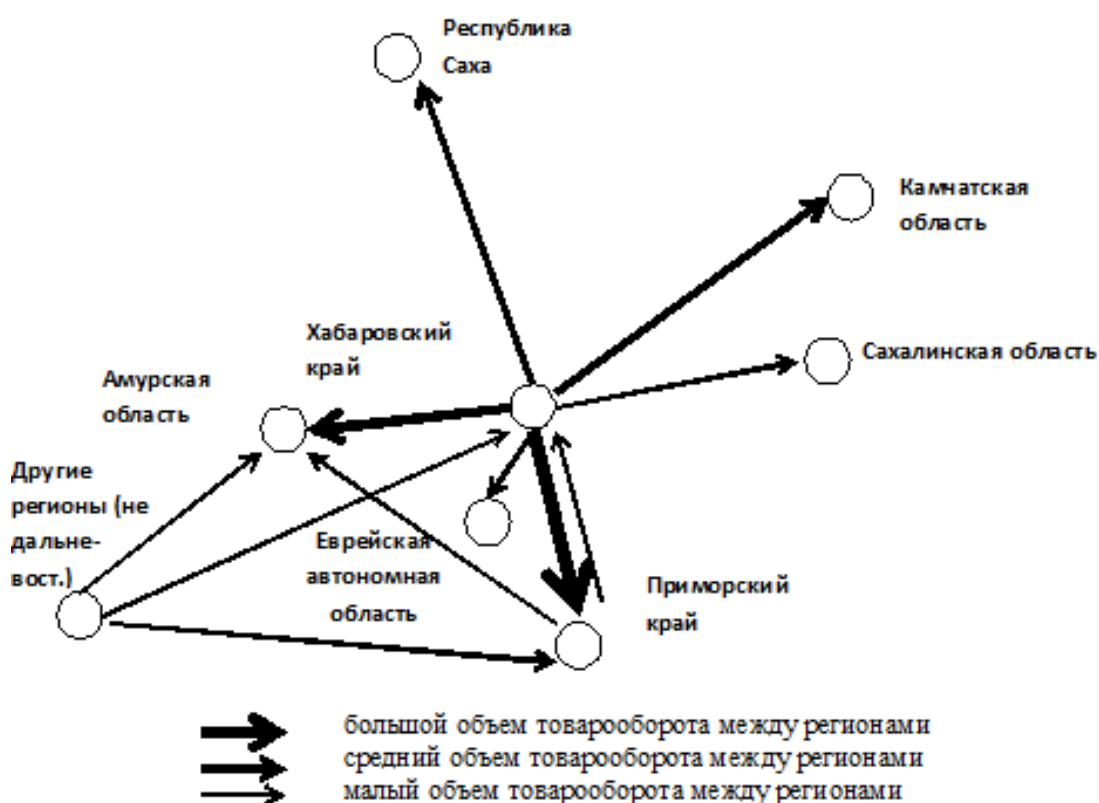


Рисунок 2 – Перевозки автомобильного бензина между регионами Дальнего Востока

Также уголь перевозили из Амурской области в Хабаровский, Приморский края, в меньшем объеме в Магаданскую и Камчатскую области и в другие регионы. Из Хабаровского края уголь был направлен в основном в Приморский край, а также в Магаданскую и Амурскую области.

Из Магаданской, Сахалинской областей и Чукотского автономного округа уголь был направлен в Хабаровский край и Приморский край, в меньшем количестве в остальные регионы. Также уголь был перевезен в регионы Дальнего Востока из других регионов, которые не являются дальневосточными.

Таблица 4 – Результаты моделирования. Перевозки автомобильного бензина, тыс.т.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	3,13	3,98	1,84	1,12	0,02	0,36	0,75	0	0
2	314,8	0	92,55	14,53	36,31	0,69	15,88	32,04	0,18	0,01
3	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,1	0,04	0,04	0,02	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	144,07	60,32	41,43	28,8	4,96	0,09	5,36	4,41	0,01	0

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9, другие регионы – 10.

Таблица 5 – Результаты моделирования. Перевозки угля, тыс.т.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	5,53	2,29	0,78	0,72	1,45	0	0,78	0,36	0
2	100,69	0	44,63	5,18	19,6	52,13	0	27,98	12,79	0
3	172,49	184,94	0	16,44	14,47	60,61	0	32,53	13,53	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1133	1693,23	301,64	180,99	0	92,41	0,01	78,16	34,55	0,01
6	20,95	41,37	11,61	5,08	0,85	0	0	0,7	0,54	0
7	12,86	26,08	10,21	3,5	2,71	3,03	0	1,63	0,97	0
8	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
9	33,11	64,88	16,57	7,74	2,03	3,44	0	1,23	0	0
10	705,91	1369,96	306,05	157,29	41,03	109,91	0	58,99	15,06	0

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9, другие регионы – 10.

Проанализируем решение, полученное для деловой древесины (табл. 6). Деловая древесина была перевезена из Хабаровского края в Приморский край, в гораздо меньшем количестве из Республики Саха в Приморский край. Перевозки деловой древесины между остальными регионами Дальнего Востока незначительны.

Рассмотрим перевозки мяса и птицы между регионами Дальнего Востока (табл. 7). Мясо и птица были перевезены из Амурской области в Хабаровский край, в меньшем объеме в Приморский край и Республику Саха и в другие регионы. Из Хабаровского края перевозки были направлены в основном в Республику Саха, в Приморский край и Амурскую область. Меньший объем поставок – из Приморского края в Хабаровский край.

Рассмотрим решение, полученное для легковых автомобилей (табл. 8). Легковые автомобили были перевезены из Приморского края в Республику Саха, в меньшем объеме в Амурскую область, Хабаровский край, Сахалинскую область и в другие регионы. Перевозок между остальными регионами дальнего Востока не наблюдается.

Таблица 6 – Результаты моделирования. Перевозки деловой древесины, тыс. м³

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0,08	0	0	0,12	0	0	0	0	0
2	44,61	0	0	0	3	0,01	0	0,01	0,07	0,01
3	1,89	0,06	0	0	0,05	0	0	0	0	0
4	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	9,59	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	110,87	6,06	0,01	0,01	2,22	0	0,01	0	0,03	0

Таблица 7 – Результаты моделирования. Перевозки мяса и птицы, т.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	17,5	3,12	0,03	5,14	0,03	0,02	0,06	0	0
2	143,75	0,01	85,35	0,25	195,88	1,58	1,17	3	0	0
3	405,42	1350,32	0	1,29	238,07	3,02	3,13	5,74	0,01	0,01
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
10	112,82	680,12	65,52	0,84	45,9	0,37	0,68	0,71	0	0

Таблица 8 – Результаты моделирования. Перевозки легковых автомобилей, шт.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	313,67	316,17	0,52	364,4	15,84	151,43	12,96	0,01	0,01
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	950,97	1110,31	604,82	1,48	296,59	17,16	412,56	14,04	0	0

Обозначения: Приморский край – 1, Хабаровский край – 2, Амурская область – 3, Еврейская автономная область – 4, Республика Саха (Якутия) – 5, Магаданская область – 6, Сахалинская область – 7, Камчатский край – 8, Чукотский автономный округ – 9, другие регионы – 10.

В результате было получено решение задачи определения вероятных перевозок товаров между регионами Дальнего Востока России. В условиях неполноты статистических данных использование математического моделирования позволило получить интерпретируемые результаты, имеющие экономический смысл и удалось спрогнозировать картину наиболее вероятного распределения потоков товаров между регионами Дальнего Востока России. Такие решения особенно необходимы специалистам по региональной экономике для изучения и прогнозирования экономических связей между территориями.

Выводы

Представленный подход позволяет выяснить характер взаимосвязей экономик регионов Дальнего Востока России в условиях существующей пространственной структуры размещения производств. Эти взаимосвязи сопровождаются пространственной неравномерностью и сильной дифференциацией по продуктам. Новая структура взаимосвязей экономик регионов возможна при изменении параметров экономического пространства (транспортная, энергетическая инфраструктура; пространственная структура производства и расходования ВРП).

Подготовку статистических данных и программного инструментария для проведения расчетов провела Н.В. Демашова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонтьев В.В. Избранные произведения в 3-х тт. Т.1 Общеэкономические проблемы межотраслевого анализа. – М.: Экономика, 2006. – 407 с.
2. Anderson J.E., Wincoop E. Gravity with gravitas: a solution to the border puzzle // The American Economic Review. 2003, Vol. 93, No. 1. pp. 170 – 192.
3. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Вильсон А. Дж. Пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
4. Batten D.F., Boyce D.E. Spatial interaction and interregional commodity flow models / In: Handbook on regional and urban economics. Vol. 1. 1987. Chapter 9. pp. 357 – 406.
5. Ham H., Kim T.J., Boyce D. Implementation and estimation of a combined model of interregional, multimodal commodity shipments and transportation network flows // Transportation Research. Part B. 2005. No. 39. pp. 65 – 79.
6. Ham H., Kim T.J., Boyce D. Assessment of economic impacts from unexpected events with an interregional commodity flow and multimodal transportation network model // Transportation Research. Part A. 2005. No. 39. pp. 849 – 860.
7. Васильева Е.М., Левит Б.Ю., Лившиц В.Н. Нелинейные транспортные задачи на сетях. – М.: Транспорт, 1981. – 104 с.
8. Оптимизация планирования и управления транспортными системами / Васильева Е.М., Игудин Р.В., Лившиц В.Н. и др. / Под ред. В.Н. Лившица. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.
9. Попков Ю. С., Посохин М. В., Гутнов А. Э., Шмульян Б.Л. Системный анализ и проблемы развития городов. – М.: Наука, 1983. – 512 с.
10. Величко А.С. Моделирование межрайонных торговых связей // Информатика и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 103 – 113. URL: http://www.amursu.ru/ics/ics_pdf/N15_15.pdf.

Стаття надійшла до редакції 21.11.2014