

МОДЕЛИРОВАНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ЦЧР)

А. Э. Крупко, Ю. М. Фетисов, Ю. А. Нестеров, А. К. Черкашин

*Воронежский государственный университет, Россия
Институт географии им. В. Б. Сочавы, Россия*

Поступила в редакцию 30 марта 2015 г.

Аннотация: Анализ существующих проблем математического моделирования и многомерность социально-экономических процессов подсказывает схему разработки комбинированного подхода к решению балансовых задач на уровне района. В регрессионных моделях использование определителя Якоби и преобразования Лежандра значительно увеличивает адекватность моделирования, что позволяет проследить региональные связи и определить возможности сбалансированного территориального развития.

Ключевые слова: модель, баланс, кластер, определитель Якоби, регрессия, преобразование Лежандра, регион, муниципальное образование.

Abstract: The article presents the analyses of existing problems in mathematic modeling and multidimensionality of social and economic processes, which suggests the scheme for development of a combined approach to solve balance concerns on the regional level. In regression models Jacobian and Legendre transformation indexes prominently enhance adequacy of modeling, which allows to trace regional connection and define possibility for balanced territorial development.

Key words: model, balance, cluster, Jacobian, regression, Legendre transformation, region, municipality.

Пространственная и временная изменчивость современной социально-экономической ситуации в России и по ее регионам заставляет искать новые методы моделирования развития территорий от уровня страны до уровня муниципальных образований (МО). Разработано множество методов экономико-математического моделирования [1, 2, 3, 4, 5, 6, 10] для анализа и прогнозирования состояния социально-экономических образований, в том числе многоуровневых пространственных систем. Одной из проблем в данном направлении исследований является поиск моделей, адекватных социально-экономической действительности, т.е. принимающих во внимание особенности географического положения и исторического становления территорий. Адекватные модели в наибольшей степени могут обеспечить их применение в современных условиях функционирования регионов и МО. На выбор модели, с нашей точки зрения, оказывают влияния три главных фактора: 1) характер

истики социально-экономического развития систем; 2) неопределенность, причем неопределенность текущего момента мало в чем отличается от неопределенности будущего; 3) вид и особенности математических моделей – их обоснованность и универсальность, интерпретируемость и идентифицируемость.

Особенно усложняет задачи математического моделирования состояния регионов и МО неопределенность. Выделяют естественную, концептуальную, стратегическую, поведенческую и социальную неопределенности [3, 5, 6]. Трудность, с которой приходится иметь дело при моделировании социально-экономических систем, состоит в том, что в настоящее время условия неопределенности резко ограничивают возможность применения экстраполяционных (традиционных) методов прогнозирования. В советское время необходимо было моделировать количественный рост. Сейчас требуется, чтобы прогнозные модели отражали и качественные изменения, происходящие в закономерностях развития изучаемых процессов. Моделирование социально-экономического развития

общественных пространственных систем связано еще с одной проблемой – многомерностью моделируемых процессов в территориальном и компонентном плане. Взаимосвязи между элементами и компонентами систем столь сложны и часто трудно идентифицируемы, что для их адекватного отражения требуются специальные подходы. Причем, стандартной является ситуация, когда число наблюдений столь мало, что идея построения эконометрических моделей многомерных временных рядов теряет всякий смысл [2, 3, 5]. В настоящее время среди многих моделей математического моделирования используются группы различных моделей, каждая из которых имеет ряд достоинств и недостатков. Особенно важны последние, так как именно они и ограничивают возможности моделирования развития общественных систем.

Среди формализованных моделей выделяются экстраполяционные и регрессионные модели, которые используют ограниченно, так как в настоящее время во многих случаях просто нет достаточного объема данных для построения надежных моделей. По этой же причине редко применяются адаптивная регрессия и адаптивная фильтрация (для построения моделей требуется еще больший объем данных). Такие модели как адаптивный предиктор Хольта, адаптивный полином Брауна, модель Тригга, модель Лэхири также используются ограниченно, поскольку не учитываются взаимосвязи между прогнозируемыми показателями. Среди интуитивных методов преобладают экспертные оценки, прогнозная оценка, метод Дельфы, мозговой штурм – индивидуальное или групповое мнение высококвалифицированных специалистов относительно будущего состояния прогнозируемого объекта. Эти методы используются в основном для определения качественных составляющих математического прогнозирования [2, 3, 5]. Поэтому большое значение в математическом моделировании и прогнозировании имеют комбинированные модели, позволяющие снять многие ограничения моделирования.

Характер математического моделирования должен обуславливать идентификации экономико-географических условий развития территорий. Под идентификацией понимается установление тождества, совпадения объектов по их признакам, или опознание объектов на основе определенных свойств. В области математического моделирования идентификация подразумевает определение конкретных параметров (коэффициентов) и структуры модели, и обеспечение адекватности этой модели объекту исследования [1, 2, 3, 4, 5, 10].

Математическое моделирование регионов и МО имеет несколько этапов. При этом происходит процедура превращения абстрактной экономико-математической модели в конкретную экономико-географическую модель с помощью математических технологий и географических методов типизации территориальных элементов, основанных на пространственном анализе и технологиях, представляемых геоинформационными системами [1, 7, 8, 9, 10]. Общая экономическая модель, используемая для социально-экономического анализа территории, представляет собой неизвестную аналитическую функцию $W(x)$ многих переменных – потенциалов $x = \{x_i\}$. Она является индикативной функцией значения, характеризующей обобщенный потенциал территориального развития. Канальное преобразование Лежандра позволяет развернуть неизвестную функцию $W(x)$ в уравнение вида:

$$W(x) = \sum_i a_i x_i - \bar{W}(a), \quad a_i = \frac{\partial W}{\partial x_i}, \quad (1)$$

где $\bar{W}(a)$ – результат преобразования [1, 4, 10]. Здесь $x = \{x_i\}$ – набор социально-экономических и природных характеристик территории; $a = \{a_i\}$ – коэффициенты, отражающие индивидуальные (внутренние) особенности экономико-географической среды исследуемой территории; $\bar{W}(a)$ – функция чувствительности, сопряженная с функцией значения $W(x)$, показывающая отклонение текущего состояния экономики территории от исходного ($x_i=0$) или сбалансированного ($x_i=x_{0i}$) состояний и отражающая внешние условия развития экономико-географической системы [1, 2, 3, 4, 10]. Для условий функционального баланса справедливо соотношение, следующее из (1):

$$W(x_0) = \sum_i a_i x_{0i} - \bar{W}(a).$$

Вычитая его из (1), получим:

$$\begin{aligned} W(x) - W(x_0) &= \sum_i a_i (x_i - x_{0i}), \\ \bar{W}(a) &= -W(x_0) + \sum_i a_i x_{0i} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты a , $\bar{W}(a)$, x_0 характеризуют конкретную социально-экономическую ситуацию на территории, т. е. уравнения в форме (1) и (2) – точная экономико-географическая модель района, локально отражающая свойства абстрактной экономической модели $W(x)$ [1, 10]. Значения $a = \{a_i\}$ определяются методами скользящей множественной

регрессии для длинных рядов данных и обыкновенной множественной регрессии для коротких рядов.

Уравнение индикативной функции в форме касательного преобразования Лежандра (1) представляет собой фундаментальную математическую закономерность, которая может быть использована для описания локальных функциональных связей характеристик любых систем. Сумма функции значения и чувствительности соответствует потенциалу действия системы и описывается билинейным уравнением [1, 10]:

$$D(x, a) = W(x) + \bar{W}(a) = \sum_i a_i x_i. \quad (3)$$

В нем изменяются и переменные x , и параметры взаимодействия a . Это уравнение описывает систему адекватно текущему изменению географической ситуации и является универсальным средством отображения экономико-географических и социально-экономических связей как в пространственном, так и во временном аспекте [1, 10]. Уравнение Лежандра имеет важное значение для количественных географических исследований, так как оно позволяет не только учесть локальные особенности среды a влияния факторов x , но и отобразить иерархию организации экономико-географической среды через анализ связности территорий.

Географическое знание призвано раскрыть содержание обобщенной экономико-математической модели формирования социально-экономических характеристик W по частным характеристикам x и

условиям их формирования a . Данная модель построена на уровне муниципальных районов и городских округов ЦЧР. Для этого по модели (1) проводится множественный регрессионный анализ коротких рядов данных (2009-2013 гг.), характеризующих экономику муниципальных районов Центрально-Черноземного района в предположении локальной постоянности значений a . В дальнейшем анализируются связи коэффициентов регрессии на предмет выделения однородных по функциональным критериям групп, схожих социально-экономических ситуаций и экономико-географических условий развития. Исходными показателями моделирования являются общий объем инвестиций (инвестиционный потенциал района) W и объемы промышленного x_1 и сельскохозяйственного x_2 производства за 2009-2013 годы как частные экономические характеристики территории для всех муниципальных районов (МР) и трех городских округов (ГО) (Старооскольский, Губкинский и Борисоглебский) по данным базы данных показателей муниципальных образований России. В качестве примера приведены данные по первой группе районов (таблица 1).

Множественная регрессия имеет следующий общий вид:

$$W(x) = a_1 x_1 + a_2 x_2 - \bar{W}(a). \quad (4)$$

Коэффициенты чувствительности a_1 и a_2 называются акселераторами, или регуляторами разви-

Таблица 1

Первая группа – относительно развитые промышленные МО ЦЧР

Эконом. показат.	Районы, ГО	Алексеевский	Корочанский	Россошанский	Лебедянский	Каширский	Губкинский
Инвестиции (млн. руб.)	2009	2755	962	1006	2810	365	2104
	2010	1226	844	1019	2463	211	2544
	2011	2252	1486	1847	1953	176	2885
	2012	4351	2419	1537	689	319	3256
	2013	4185	3214	1393	2560	253	3995
Объем промышленной продукции (млн. руб.)	2009	21151	392	17498	27840	4744	40445
	2010	24731	15846	21549	30277	6040	75583
	2011	30600	15393	27758	27439	7859	104579
	2012	31414	23449	32712	23440	9459	82648
	2013	30437	28220	29619	22885	8889	82506
Объем сельскохозяйственной продукции (млн. руб.)	2009	2421	4266	2890	2424	2043	3627
	2010	3236	4617	3125	1981	1657	3837
	2011	6324	7623	4087	2871	2672	4740
	2012	6163	9497	4978	3435	3718	5494
	2013	6307	9909	5749	3803	4365	5498

[Составлено по 11]

тия. Их можно также рассматривать в качестве индикаторов условий взаимодействия. Исследуется в модели статистическая зависимость $\bar{W}(a)$ от a_1 и a_2 в виде линейной функции:

$$\bar{W}(a) = -k_0 + a_1 k_1 + a_2 k_2. \quad (5)$$

По своему потенциалу, уровню и особенностям развития районы ЦЧР неоднородны и должны быть разделены на группы со сходными условиями функционирования. Для выделения групп районов были проведены кластерный и дискриминантный анализы МО ЦЧР по уровню развития абсолютных и относительных (на душу населения) среднегодовых (за 2009-2013 гг.) показателей инвестиций, сельскохозяйственного и промышленного производства по каждой территории. Использовался кластерный анализ по методу метрики (Нормированная Эвклидова + Дивизивная), стратегия объединения Уорда [7, 8, 9]. Наиболее адекватными получились группы кластеров (7 кластерных групп из 10) для объемов сельскохозяйственного и промышленного производства со средним внутрикластерным расстоянием равным 0,6634 (дальнейшее уменьшение кластерного расстояния приводило только к росту нулевых кластеров). Среди выделенных кластеров два отдельных МО: Старооскольский ГО – второй (после Липецка) центр промышленности, образует первый кластер, а Волоконовский район (крупнейшее сельскохозяйственное производство в ЦЧР) составляет пятый кластер. Промышленные (относительно развитые) районы полностью совпадают с четвертым кластером, а районы наиболее развитые промышленно-аграрные и аграрно-промышленные со вторым кластером плюс Яковлевский и Валуйский МР. Остальные три кластера распределились (в основном) следующим образом: третий кластер для районов более высокого уровня, шестой для среднего уровня развития, седьмой для низкого уровня развития. Промышленные и промышленно-аграрные муниципальные образования выделены по соотношению объемов промышленного и сельскохозяйственного производств. Составлена эта группа из МО 3, 6 и 7 кластеров с разным относительным уровнем развития. Показателями для группировки остальных групп являются те же показатели что и в кластеризации, а также дополнительно учитывается соотношение между промышленностью и сельским хозяйством. Ряд МР относятся к более высоким кластерным группам (по сравнению с группировкой) из-за высокого абсолютного показателя. Для МР (аграрных и аграр-

но-промышленных) были выделены пять уровней группировки: самый низкий – до 0,4 среднерайонного показателя (СРП), относительно низкий – 0,41-0,8 СРП, средний – 0,81-1,2 СРП, относительно высокий – 1,21-1,6 СРП, наиболее высокоразвитый – свыше 1,6 СРП. При близости МО к границе интервала предпочтение отдавалось кластерному признаку. В результате получилось 13 групп районов и округов. Внутри каждой группы методами регрессионного анализа рассчитывались коэффициенты уравнения (4).

Оценивалось влияние удаления района из группы на множественный коэффициент корреляции. Если коэффициент заметно повышался, то район относился к другой группе при условии неснижения или небольшого снижения ее групповой корреляции. Таким образом, районы перераспределились по 13 группам; отдельно выделены Старооскольский ГО и Волоконовский МР, параметры которого не согласовывались ни с одной группой. Результаты расчета коэффициентов приведены в таблице 2.

К первой группе относятся наиболее крупные промышленные территории ЦЧР (за исключением Каширского). В этой группе резко отличается по объему промышленного производства Губкинский ГО, но при удалении его из первой группы, коэффициент корреляции – 99,16 % (с ним $R = 99,13$ %) почти не меняется, поэтому эта группа оставлена без изменения. Вторую группу образуют наиболее развитые промышленно-аграрные и аграрно-промышленные районы: Шебекинский (математически эталонный район ЦЧР), Лискинский, Ракитянский, Яковлевский, Прохоровский, Валуйский, Ивнянский, Краснояружский, Новооскольский, Яковлевский и Валуйский МР могли быть отнесены к другим группам (по кластеризации), но удаление первого не меняет коэффициент корреляции ($R = 66,33$ % – раньше = 66,31 %), а при удалении второго коэффициент ($R = 59,25$ %) становится меньше, поэтому эта группа остается без уменьшения элементов. К третьей группе относятся относительно развитые аграрно-промышленные районы. В этой группе удаление Аннинского МР повышает коэффициент корреляции с 82,32 % до 97,37 %. Поэтому Аннинский переведен во вторую группу, где R также вырос до 67,62 %. Четвертую группу сформировали районы наиболее развитые аграрные (по относительному показателю). Значимость коэффициентов (отличие их от нуля) почти 100 %. Поэтому эта группа без изменения. В пятой группе объединены районы со средним уров-

Коэффициенты индикативных функций по группам территорий ЦЧР

Территория	Группа	$\bar{W}(a)$	a_1	a_2	k_0	k_1	k_2	R, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Алексеевский	I	-5931	-0,3063	1,128	407,5	24320	2050	99,13
Корочанский		722,3	0,0079	0,3307				
Россошанский		-186	0,0697	-0,1505				
Лебедянский		10980	0,3752	1,097				
Каширский		-389,3	-0,0459	0,0744				
Губкинский		484,7	-0,0002	0,2931				
Щебекинский	II	7912	0,4254	0,4565				
Лискинский		-3154	0,8227	-0,6676				
Ракитянский		6510	1,128	-0,6201				
Яковлевский		2016	-0,302	1,141				
Прохоровский		-3452	-0,4314	0,1764				
Валуйский		-4634	0,411	-1,457				
Ивнянский		343,2	2,021	-0,4504				
Краснояржужский		-1323	0,2646	-0,3148				
Новооскольский		-3592	-0,1164	-0,1774				
Аннинский	-3273	-0,3061	0,0545					
Красногвардейский	III	-459	-0,8515	0,4742	645,5	715,4	2104	97,09
Ровенский		-1805	0,1112	-0,4628				
Касторенский		98,79	0,0937	0,117				
Эртильский		-207,4	0,0601	0,0833				
Горшеченский		1488	-0,6515	1,256				
Советский		564,3	0,0312	0,647				
Долгоруковский	-857,9	-6,619	-0,1553					
Пристенский	IV	913,9	-650,4	1,353	-339,4	-8,719	-3767	99,99
Коньшевский		-4180	-12,6	1,229				
Черемисиновский		22,26	-1,596	0,0879				
Инжавинский	V	1077	6,265	0,1704	660,4	0,0189	3998	99,54
Вейделевский		-1501	-5,155	-0,0896				
Корневский		-598,2	-5265	0,02995				
Жердевский		753,3	0,253	0,4613				
Железногорский		-1727	-0,3411	-0,2921				
Лев-Толстовский		-14450	-10,09	-3,45				
Гавриловский		2595	516,8	0,7252				
Большесолдатский		433,6	0,0388	0,3011				
Глушковский		-83,62	-0,061	0,1955				
Уваровский		476,2	-75,31	0,3959				
Хомутовский		165	3,671	0,1721				
Поныровский	297,4	9,724	0,2431					
Борисовский	VI	-407,5	-0,0466	0,0455	-95,34	312,2	2870	87,45
Борисоглебский		-1,442	0,5684	0,0203				
Каменский		2873	1,594	0,6847				
Новохоперский		971,6	1,019	-0,2793				
Ольховатский		-72,79	-0,0882	0,4036				
Первомайский		1958	1,64	-0,4511				
Павловский		933,5	-0,3765	0,9785				
Верхнехавский		-5767	0,5088	-1,902				
Бобровский		979,7	0,7541	-0,3743				
Грязинский		-6565	0,548	-2,835				
Липецкий		3180	0,1724	0,5914				
Тамбовский		-6975	0,5797	-1,223				
Белгородский		4598	-0,0095	0,8208				
Рамонский		2267	18,58	-1,134				
Новоусманский		-689,7	0,4456	-0,0766				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Октябрьский		335	-0,3467	0,3924				
Курский		628,7	-0,7564					
Чернянский	VII	-487,3	0,1658	-0,108	88,18	940,8	949,4	85,69
Грибановский		92,89	-0,3357	0,4533				
Бутурлиновский		283,2	0,2897	-0,0033				
Панинский		-3,743	-0,5997	0,3087				
Хохольский		205,6	-0,0801	0,228				
Рыльский		348,7	0,2865	0,7067				
Чаплыгинский		-212,1	0,4637	-0,1079				
Добринский		1043	0,0421	0,3855				
Токаревский		849,4	0,4872	0,5123				
Калачеевский		967,3	1,152	-0,1695				
Задонский		388	0,0797	0,2535				
Тербунский		548,7	1,013	0,3422				
Никифоровский		1383	-0,3188	1,42				
Терновский		-95,87	0,0960	0,0088				
Острогожский		-309,8	-0,7726	0,5129				
Семилукский		2283	3,949	-1,757				
Грайворонский		-194,7	0,0061	0,1282				
Поворинский		72,47	0,2078	0,0244				
Нижедевицкий	VIII	422,2	-4,302	0,3695	-34,51	8,318	1132	83,28
Мордовский		2263	-1,916	1,57				
Петровский		1291	258,3	-0,4139				
Ржаксинский		-845,4	-72,18	-0,1841				
Беловский		-679,4	0,0376	0,0067				
Красненский		1221	77,23	-0,6494				
Воробьевский		-116,1	0,7528	0,0021				
Кантемировский		-66,45	-3,356	0,3859				
Щигровский		240,5	59,22	-0,0576				
Медвенский		146,4	0,1956	0,235				
Тимский		-129,1	-4,541	0,132				
Солнцевский		5,157	-3,036	0,1091				
Сампурский		967,8	-6,583	0,8368				
Староюрьевский		-361,4	-40,48	-0,0808				
Знаменский		-469,9	-0,4088	0,462				
Мантуровский		-17,3	0,2034	-0,0268				
Золотухинский	IX	838,9	0,1061	0,7334	2664	258,6	4928	92,81
Данковский		350,6	0,1257	0,4433				
Суджанский		-2121	-2,403	0,1301				
Подгоренский		231,8	3,759	0,4557				
Фатежский		-3246	-2,764	0,2018				
Хлевенский	X	990,6	7,008	0,6104	281,8	0,5241	1298	86,41
Репьевский		99,98	-0,2682	0,1019				
Таловский		-546,8	3285	-1,507				
Добровский		-197	-5,868	0,117				
Становлянский		2895	-4,693	-0,0745				
Измалковский		-771,1	-49,67	0,8708				
Краснинский		-43,33	-18,01	0,3257				
Усманский		-630,3	-3,438	0,1505				
Уметский		356,5	52,68	0,9148				
Мичуринский		499,3	-2,902	0,132				
Воловской		-51,68	11,91	-0,2068				
Бондарский		-674,5	5,264	0,1572				
Рассказовский		264,8	4,269	0,3601				
Кирсановский		563,2	75,23	-0,028				
Петропавловский		-71,83	0,2373	-0,0992				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Елецкий		-849	-1,024	0,3291				
Мучкапский		181,2	-36,69	0,1393				
Сосновский		-175,9	-18,03	0,4306				
Дмитриевский		107,6	-0,5674	0,4047				
Курчатовский		192,6	0,7847	-0,2639				
Львовский		-60,58	17,79	-0,2639				
Верхнемамонский	XI	-45,51	0,1875	0,0848	-16,75	389,8	2332	98,21
Пичаевский		-510,7	3,834	-0,846				
Моршанский		-2573	-4,913	-0,3888				
Богучарский		-254,9	-0,3807	0,0588				
Обоянский		2175	3,142	0,2242				
Старооскольский	XII	1070	0,1356	-1,582				81,97
Волоконовский	XIII	-1225	0,3698	0,0176				26,99

нем сельскохозяйственного производства. В данной группе R равен 99,54 %, модель обладает высокой адекватностью, следовательно группа остается неизменной. В группе VI выделяются муниципальные образования промышленного и промышленно-аграрного типа. В этой группе удаление территорий также понижает коэффициент корреляции. К седьмой группе относятся среднеразвитые аграрно-промышленные районы. Здесь изначально R всего лишь 39,42 %. Удаление Белгородского МР повышает R до 66,49 %, а удаление Рамонского МР повышает его даже до 85,5 %. Удаление других территорий понижает значение коэффициента корреляции. Перенос Белгородского и Рамонского МР в группу VIII резко понижает R этой группы до 67,89 и 46 % соответственно, если же перенести в группу VI, то коэффициент корреляции понижается мало – с 90,7 % соответственно до 89,88 % и 88,02 %. Поэтому эти районы перенесены в группу VI. Восьмую группу составляют среднеразвитые аграрные районы. В группе VIII удаление территорий не сильно меняет коэффициент корреляции. Поэтому группа не изменяется. Девятая группа – это аграрно-промышленные слаборазвитые районы. Удаление из группы IX Поворинского МР повышает R этой группы с 75,3 % до 85,85 %. Перенос его в группу VIII понижает R этой группы с 83,28 % до 46,32 %, перемещение в X группу приводит к падению коэффициента корреляции группы до 14,34 %, поэтому переносим в седьмую группу (R возрастает до 85,69 %). Перенос из девятой группы Октябрьского и Курского МР в шестую повышает R до 92,81 %, а в группе VI коэффициент корреляции остается почти на том же уровне (с 87,81 % до 87,45 %). К десятой группе относятся аграрные слаборазвитые районы.

Удаление в ней Долгоруковского района изменяет R с 30 % до 77,26 %. Перенос его в третью группу незначительно снижает R группы – с 97,37 до 97,09. Удаление Обоянского МР также повышает R – с 77,26 % до 86,41 %. Включение его в группу XI несильно меняет коэффициент корреляции: с 98,18 % до 96,43 %. В группе XI выделены аграрные и аграрно-промышленные наименее развитые районы. Удаление из этой группы Новоусманского МР в шестую группу изменяет коэффициент корреляции с 96,43 до 98,21. В шестой группе после включения района R немного падает (с 90,7 % до 87,81 %), поэтому этот район подходит по своим характеристикам и к XI и к VI группам (из-за большой численности населения у него очень низкие относительные показатели развития). Но мы его оставляем в шестой группе, вместе с другими пригородными районами ЦЧР. Старооскольский ГО близок по показателям к 1 группе, а Волоконовский МР ко второй группе (рис. 1).

Подстановка уравнения (4) в (1) дает соотношение:

$$W(x) - k_0 = a_1(x_1 - k_1) + a_{21}(x_2 - k_2). \quad (6)$$

Сравнивая (6) с (2), находим $k_0 = W(x_0) = W_0$, $k_1 = x_{01}$, $k_2 = x_{02}$, т.е. полученные коэффициенты могут быть отождествлены с базовым, сбалансированным состоянием экономики группы районов, или экономико-географическими условиями развития (ЭГУР) [9]. В результате по группам районов формируются пучки линий с координатами центров (x_{01}, x_{02}, W_0) , отражающими ЭГУР. Это типизирует районы по функциональным критериям, а также позволяет утверждать, что зависимость инвестиций от объемов производства в одном районе может переноситься на подобные зависимости в другом районе. Показатель W_0 мож-

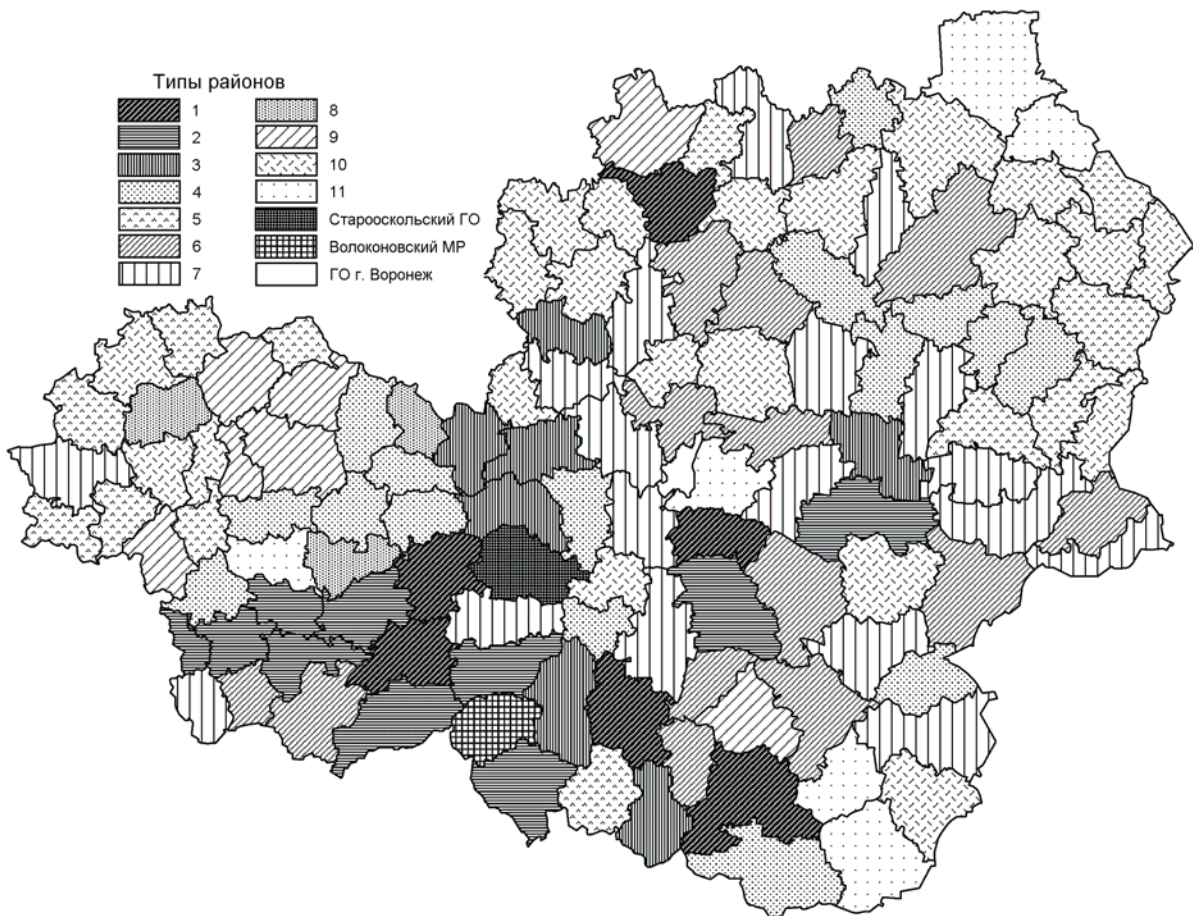


Рис. 1. Типы муниципальных образований ЦФР, выделенных по сходности условий социально-экономического развития

но использовать для оценки уровня динамики развития системы. Согласно таблице 1, по показателю $W_0 = k_0$ формируется следующая эволюционная последовательность групп территорий ЦФР: IV → VIII → VII → XI → X → I → III → V → VI → II → IX, это свидетельствует о большой значимости внешних факторов инвестиционных процессов развития МО ЦФР. Корреляционный анализ показывает наличие достаточно тесной связи ($R = 0,79$) координат центров $W_0(x_{01}, x_{02}) = 59,94 - 0,008x_{01} + 0,2493x_{02}$, что показывает наличие единого экономико-географического пространства для ЦФР, развивающегося в общем направлении. На основании этих выводов можно утверждать, что выделенные ряды групп муниципальных образований ЦФР являются логическо-математическими типами-аналогами, представляющими разные этапы территориального развития района.

Наглядным показателем функциональной связности районов для данных показателей является определитель Якоби (J) [1]. Для двух районов (один из которых эталонный) уравнение (4) записывается с разными коэффициентами чувствительности a :

$$W_1(x) = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 - \bar{W}_1(a), \quad (7)$$

$$W_2(x) = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 - \bar{W}_2(a).$$

Величина определителя J рассчитывается по формуле:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial W_1}{\partial x_1} & \frac{\partial W_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial W_2}{\partial x_1} & \frac{\partial W_2}{\partial x_2} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}. \quad (8)$$

Два района считаются однородными и относятся к одной группе функционирования, если $J = 0$. При парном сравнении это предполагает пропорциональность (зависимость) коэффициентов чувствительности [1]:

$$a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 0, \quad \frac{a_{11}}{a_{12}} = \frac{a_{21}}{a_{22}} = const. \quad (9)$$

При сравнительном анализе выделяются территории, однородные по выбранной связи их потенциалов, что становится основой для экономико-географической типизации локальных ситуаций

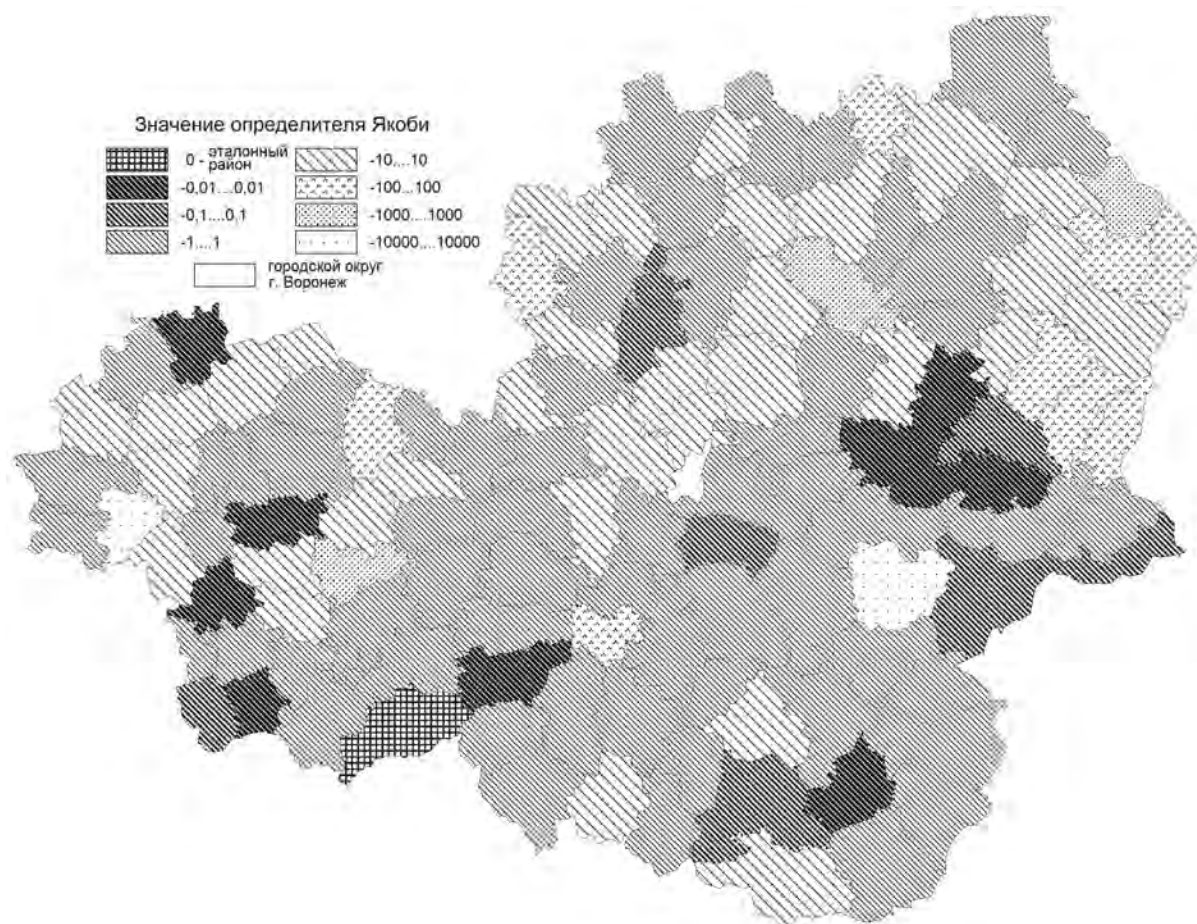


Рис. 2. Идентификация однотипных социально-экономических ситуаций в муниципальных районах ЦЧР с помощью определителя Якоби

муниципальных районов. Результаты типизации районов ЦЧР по связности показаны на рисунке 2.

В качестве эталона сравнения выбран развитый Щебекинский МР Белгородской области с сопоставимыми коэффициентами чувствительности по промышленному и сельскохозяйственному производству:

$$a_1 = 0,4254, a_2 = 0,4565, a_2 - a_1 = 0,0311,$$

$$\frac{a_2}{a_1} = 1,0731.$$

В первую градацию высокой связи попадают районы с J , изменяющимся от $-0,01$ до $+0,01$. Затем выделяются градации с интервалами на порядок больше, $(-0,1...+0,1)$. Всего в ЦЧР нами выделены семь градаций связи на основе определителя Якоби. При значениях J , близких к нулю, выделяются районы, функции которых развиваются в сопоставимых условиях, аналогичных Щебекинскому району. Сходны с ним МР ЦЧР, в которых доля промышленности в экономике близка к доли сельского хозяйства. Предполагается, что эти

территории функционально наиболее привязаны друг к другу по социально-экономическим характеристикам.

Анализ существующих проблем математического моделирования (неопределенность условий функционирования территорий, их многообразие, а также многомерность социально-экономических процессов подсказывает схему разработки комбинированного подхода к решению балансовых задач на уровне района. Причем комбинированный подход касается не только специальных методов моделирования (адаптивно-имитационных и других), но их можно использовать в любых моделях. Так, в регрессионных моделях использование определителя Якоби, преобразования Лежандра значительно увеличивает адекватность моделирования, что позволяет проследить региональные связи и определить возможности сбалансированного территориального развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гомология и гомотопия географических систем / А. К. Черкашин [и др.]. – Новосибирск : Гео, 2009. – 351 с.

REFERENCES

2. Давнис В. В. Адаптивное прогнозирование: модели и методы / В. В. Давнис. – Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 1997. – 196 с.
3. Зеленцова С. Ю. Многомерное адаптивно-имитационное моделирование в системе прогнозирования социально-экономического развития региона / С. Ю. Зеленцова, В. Е. Кирьянчук, А. Э. Крупко // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. Экономика и управление. – 2006. – № 1. – С. 148-154.
4. Клоцвог Ф. Н. Макроструктурные модели – инструмент народохозяйственного прогнозирования / Ф. Н. Клоцвог, В. А. Костин // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 6. – С. 17-28.
5. Крупко А. Э. Моделирование и прогнозирование устойчивого развития муниципальных образований ЦЧР / А. Э. Крупко. – Воронеж : Воронежский государственный педагогический университет, 2014. – 176 с.
6. Крупко А. Э. Некоторые теоретические аспекты географического исследования устойчивого (сбалансированного) развития региона / А. Э. Крупко // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. География. Геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 46-51.
7. Материалы по оценке производительных сил муниципальных районов Воронежской области (агроклиматические, водные и рекреационные ресурсы) / Л. М. Акимов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2014. – № 4. – С. 68-125.
8. Фетисов Ю. М. Методические основы применения компьютерных технологий в высшем профессиональном эколого-географическом образовании / Ю. М. Фетисов, С. А. Куролап, Ю. А. Нестеров // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 205-209.
9. Фетисов Ю. М. Методы регрессионного и корреляционного анализа в географии и геоэкологии : учебно-методическое пособие / Ю. М. Фетисов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 48 с.
10. Черкашин А. К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии / А. К. Черкашин. – Новосибирск : Наука, 1997. – 502 с.
11. База данных показателей муниципальных образований России [Электронный ресурс] – URL : <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm/>

1. Gomologiya i gomotopiya geograficheskikh sistem / A. K. Cherkashin [i dr.]. – Novosibirsk : Geo, 2009. – 351 s.
2. Davnis V. V. Adaptivnoe prognozirovanie: modeli i metody / V. V. Davnis. – Voronezh : Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 1997. – 196 s.
3. Zelentsova S. Yu. Mnogomernoe adaptivno-imitatsionnoe modelirovanie v sisteme prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona / S. Yu. Zelentsova, V. E. Kir'yanchuk, A. E. Krupko // Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Ser. Ekonomika i upravlenie. – 2006. – № 1. – S. 148-154.
4. Klotsvog F. N. Makrostrukturnye modeli – instrument narodokhozyaystvennogo prognozirovaniya / F. N. Klotsvog, V. A. Kostin // Problemy prognozirovaniya. – 2004. – № 6. – S. 17-28.
5. Krupko A. E. Modelirovanie i prognozirovanie ustoychivogo razvitiya munitsipal'nykh obrazovaniy TsChR / A. E. Krupko. – Voronezh : Voronezhskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet, 2014. – 176 s.
6. Krupko A. E. Nekotorye teoreticheskie aspekty geograficheskogo issledovaniya ustoychivogo (sbalansirovannogo) razvitiya regiona / A. E. Krupko // Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2011. – № 2. – S. 46-51.
7. Materialy po otsenke proizvoditel'nykh sil munitsipal'nykh rayonov Voronezhskoy oblasti (agroklimaticheskie, vodnye i rekreatsionnye resursy) / L. M. Akimov [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2014. – № 4. – S. 68-125.
8. Fetisov Yu. M. Metodicheskie osnovy primeneniya komp'yuternykh tekhnologiy v vysshem professional'nom ekologo-geograficheskom obrazovanii / Yu. M. Fetisov, S. A. Kurolap, Yu. A. Nesterov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 1. – S. 205-209.
9. Fetisov Yu. M. Metody regressionnogo i korrelyatsionnogo analiza v geografii i geoekologii : uchebno-metodicheskoe posobie / Yu. M. Fetisov. – Voronezh : Izdatel'skiy dom VGU, 2014. – 48 s.
10. Cherkashin A. K. Polisistemnyy analiz i sintez. Prilozhenie v geografii / A. K. Cherkashin. – Novosibirsk : Nauka, 1997. – 502 s.
11. Baza dannykh pokazateley munitsipal'nykh obrazovaniy Rossii [Elektronnyy resurs] – URL : <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm/>

Крупко Анатолий Эммануилович
кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии и регионоведения факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, т. (473) 266-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru

Фетисов Юрий Михайлович
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры природопользования факультета географии, геоэко-

Krupko Anatoliy Emmanuilovitch
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Chair of social and economic geography and regional studies, Department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru

Fetisov Yuriy Mikhailovitch
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Chair of management of nature, Voron-

логии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru

Нестеров Юрий Анатольевич
кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, т. (473) 266-56-54, E-mail: nland58@mail.ru

Черкашин Александр Константинович
доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией теоретической географии Института географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск

ezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: deanery@geogr.vsu.ru

Nesterov Yuriy Anatol`yevitch
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Chair of geoecology and environment monitoring, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: nland58@mail.ru

Cherkashin Alexander Konstantinovitch
Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of theoretical geography in Institute named after V.B. Sochava of Siberian Branch of RAS, Irkutsk