

## К ВОПРОСУ О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ВОЗНИКАЮЩЕЙ БИФУРКАЦИИ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

(Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта № 6.3334.2011, выполняемого в рамках Государственного задания Минобрнауки России подведомственным вузам на выполнение НИОКР).

*С.Н. Растворцева, С.А. Кравченко, Е.Ф. Федюк, Р.К. Афанасьев  
г. Белгород*

Сегодня возросший интерес к исследованию агломерационных процессов можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, это бурное развитие интеграционных процессов в странах и регионах мира. Происходящая либерализация торговли способствует сближению экономик, а значит, и пересмотру системы размещения производства в регионах. Важной задачей на сегодняшний день является определение способов сближения и объединения самостоятельных экономических субъектов (стран или регионов) через создание наиболее благоприятной институциональной среды. Во-вторых, развитие агломерационных процессов традиционно сопровождается усилением дифференциации регионов по уровню социально-экономического развития. Регионы выступают самостоятельными субъектами экономических отношений, в большинстве случаев являясь не партнерами друг другу, а конкурентами. Конкуренция регионов имеет место за ограниченные ресурсы, такие, как рабочая сила, инвестиции, бюджетное финансирование, получение государственных заказов и привлечение технологий. В более успешных регионах наблюдаются процессы концентрации экономической активности. Для фирм возникает возможность получения агломерационных эффектов от размещения производства. Одни регионы в конкурентной борьбе занимают лидирующие позиции, другие становятся аутсайдерами. И третья причина, по которой происходящие агломерационные процессы требуют пристального изучения, заключается в возможности прекращения этого процесса.

Целью статьи является рассмотрение подходов к определению типа возникающей бифуркации в агломерационном процессе региональной экономики.

Агломерационные процессы в регионе характеризуются экономическими отношениями между производителями, которые ослабевают с ростом расстояния между ними [1]. Развитие таких отношений обеспечивает возникновение центростремительных сил, которые стягивают трудовые ресурсы в концентрированные деловые районы. Центростремительные силы определяют структуру рабочей силы таким образом, что часть работников нуждается в дорогостоящем жилье на территории делового района, когда другая часть совершает ежедневные поездки в эти районы. В данном случае речь идет о компромиссе Фон Тюнена: выборе между расходами на поездки и более высокой земельной рентой. С другой стороны, производство, размещенное на достаточном расстоянии от места концентрации, может привлечь работников на условиях более низкой заработной платы. Однако даже в работе М. Фуджиты и Х. Огавы (1982) упоминается, что попытка дать характеристику возможному равновесию даже путем простого моделирования является сложной задачей [1].

Агломерационные процессы, в частности, процессы концентрации и рассеивания экономической активности в регионе, можно отнести к числу нелинейных явлений, следовательно, развитие взаимосвязи центростремительных и центробежных сил в экономике региона проходит через бифуркацию. Бифуркация – изменение числа и устойчивости решений определенного типа [2].

Важной характеристикой бифуркации является ее коразмерность, то есть число налагаемых на параметры системы условий, при соблюдении которых происходит данная бифуркация [3]. Число условий (внешних факторов) может варьироваться от одного – напр., транспортные расходы [4] – до нескольких (стоимость земли, качество и стоимость жизни населения региона и др.).

Случай с одним параметром (пусть это будут транспортные расходы) является наиболее простым и наглядным, так как доказано, что свойством нелинейных систем является то,

что тип возникающей бифуркации не зависит от сложности системы [5]. Таким образом, для исследования предпочтительна система более простого порядка.

Соотношение между центробежными и центростремительными силами – количественная характеристика решения (переменная состояния). В том случае, когда объемы производства в двух регионах относительно равны, экономика находится в точке симметричного равновесия. График зависимости соотношения «центробежные / центростремительные силы» от параметра «транспортные расходы» является фазопараметрической диаграммой (рис. 1).

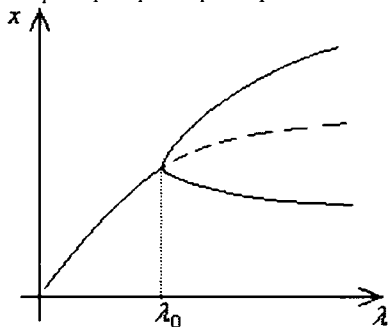


Рис. 1. Пример фазопараметрической диаграммы.  $x$  – переменная состояния,  $\lambda$  – параметр,  $\lambda_0$  – точка бифуркации.

По оси абсцисс откладываются значения параметра, по оси ординат – значения количественной характеристики решения [5]. Устойчивые положения традиционно обозначаются сплошной линией, неустойчивые – пунктирной.

Бифуркации возникают по той причине, что в динамике взаимосвязи между центростремительными силами, способствующими развитию концентрации экономической активности в регионе, и центробежными силами, провоцирующими рассеивание промышленной агломерации, наступает точка разрыва, что изменяет качественное поведение экономической динамики.

При изменении параметра положение равновесия сдвигается. В том случае, когда центробежные силы сильнее, чем центростремительные, экономика движется и приходит к точке симметричного равновесия. В обратном случае, симметричное равновесие является неустойчивым, и происходит концентрация производства в одном или другом регионе. Основной задачей проведения анализа агломерационных эффектов является нахождение критической точки или точки разрыва, так как для удержания системы вблизи положения равновесия необходимы внешние воздействия. Влияние внешних факторов может быть актуальным и во время прохождения точки бифуркации. В этот период снижается устойчивость системы по отношению к вариации начальных данных [6, 7].

При рассмотрении поведения сложной системы часто принимается во внимание, что на нее действует случайный шум – малое нерегулярное внешнее воздействие неопределенной природы (в системе присутствуют слабые флуктуации) [5]. Слабые флуктуации не оказывают заметного воздействия на поведение системы, отличающейся высокой устойчивостью. Если же система находится вблизи точки бифуркации, то следствием ее чувствительности к малым изменениям начальных данных является усиление флуктуаций. Усиление флуктуаций может играть конструктивную роль – приводить к образованию упорядоченных структур.

Следовательно, мы можем сформулировать две практические задачи:

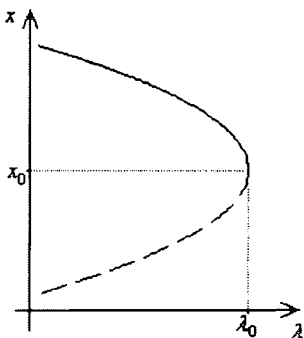
1. Задача ретроспективного анализа поведения системы с целью определения критических моментов (точек бифуркации) в прошлом, а также исследования альтернативных вариантов продвижения. Результаты решения этой задачи, помимо чисто теоретического интереса, могут представлять собой опыт, который стоит учитывать в будущем.

2. Задача определения точек бифуркации в будущем и сосредоточения управляющих усилий в определённом направлении [6]. Исходными данными для этой задачи, как правило, являются наблюдаемое состояние и поведение системы.

Теоретически взаимодействие центробежных и центростремительных сил в регионе можно объяснить следующим образом. Если  $\lambda$  – это доля производства в одном регионе, а  $(1-\lambda)$  – доля производства в другом регионе, то точка равновесия находится в  $\lambda=1/2$ . В случае, когда центробежные силы сильнее, чем центростремительные,  $d\lambda/dt$  стремится вниз по наклонной графика через  $\lambda$ , и экономика сходится в точке симметричного равновесия. В случае, когда центростремительные силы сильнее, и равновесие неустойчиво, ситуация оборачивается концентрацией производства либо в одном регионе, либо в другом.

Рассмотрим примеры бифуркаций (рис. 2).

1) Бифуркация типа «седло-узел»

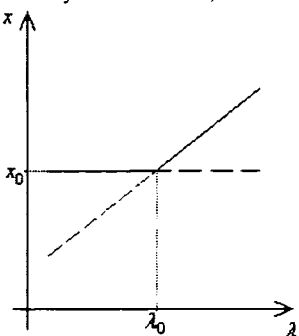


соответствует регулярной экстремальной точке  $(x_0, \lambda_0)$ , кривой  $v(x, \lambda) = 0$ .

Она возникает при соблюдении условий  $v'_x(x_0, \lambda_0) = 0$ ,  $v'_\lambda(x_0, \lambda_0) \neq 0$ ,

$v''_\lambda(x_0, \lambda_0) \neq 0$ . В окрестности точки бифуркации система приводится к виду  $y = \mu - y^2$ , где  $y$  – переменная состояния, а  $\mu$  – параметр ( $y=0$  соответствует  $x=x_0$ , а  $\mu=0$  соответствует  $\lambda=\lambda_0$ )

2) Транскритическая бифуркация (типа «обмен устойчивостью»)



соответствует двойной точке и наблюдается при соблюдении условий  $v'_x(x_0, \lambda_0) = 0$ ,

$v'_\lambda(x_0, \lambda_0) = 0$ ,  $v''_{xx}(x_0, \lambda_0) \neq 0$ ,

$D(x_0, \lambda_0) > 0$ , где

$D \triangleq (v''_{x\lambda})^2 - v''_{xx}v''_{\lambda\lambda}$ . Система приводится к виду  $\dot{y} = \mu^2 - y^2$  или к виду

$y = \mu y - y^2$

3) Бифуркация типа «вилка»

3.1) суперкритическая (мягкая) бифуркация

Бифуркация типа «вилка» соответствует особой экстремальной точке и требует соблюдения условий  $v'_x(x_0, \lambda_0) = 0$ ,

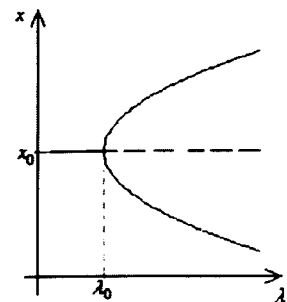
$v'_\lambda(x_0, \lambda_0) = 0$ ,  $v''_{xx}(x_0, \lambda_0) = 0$ .

$D(x_0, \lambda_0) > 0$ .

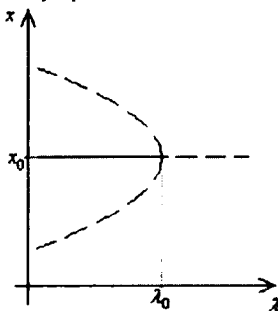
Если система приводится к виду

$\dot{y} = \mu y - y^3$ , то имеет место *суперкритическая* (мягкая) бифуркация. Из одного устойчивого положения равновесия рождается одно неустойчивое и пара расходящихся устойчивых (возможность выбора из двух вариантов устойчивого продвижения).

Если система приводится к виду  $\dot{y} = -\mu y + y^3$ , то наблюдается *субкритическая* (жесткая) бифуркация. Сближение пары неустойчивых положений равновесия с одним устойчивым с образованием единственного неустойчивого положения равновесия.



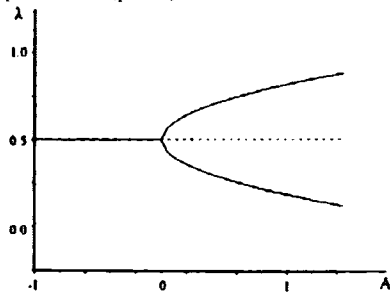
3.2) субкритическая (жесткая) бифуркация



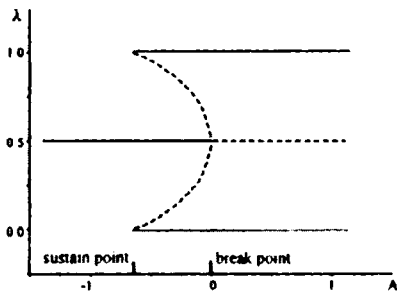
Сплошной линией показаны устойчивые особые точки, пунктирной – неустойчивые; составлено по [5].

Рис. 2. Типы бифуркаций

Из представленных выше типов бифуркации в новой экономической географии рассматриваются только два случая, оба – бифуркации типа «вилка». В работе М. Фуджиты с соавт. [4] суперкритическая (мягкая) бифуркация определяется, как «бифуркация типа вил» (*pitchfork bifurcation*), а субкритическая (жесткая) бифуркация называется авторами «бифуркация типа томагавк» (*tomahawk bifurcation*). Таким образом, в работе предлагаются два варианта развития динамики концентрации экономической активности, когда наступает случай раздвоения (рис. 3).



1) бифуркация типа вил



2) бифуркация типа томагавк

Рис. 3. Типы бифуркации (в рамках новой экономической географии)

Если баланс перемещается в пользу центростремительных сил, возникают флуктуации, стимулирующие привлечение в регион еще большего производства, нежели в соседние регионы. Регионы становятся сильно ассиметричными. В данном случае график отражает бифуркацию типа вил.

Во втором случае возможного раздвоения экономическое развитие региона проходит критическую точку, и возникают два стабильных агломерационных равновесия ( $\lambda=0$  или  $\lambda=1$ ). Таким образом, имеются две критические точки в балансе между центростремительной и центробежной силами. Одна точка – точка разрыва, в которой симметричное равновесие становится нестабильным и в которой симметрия может быть нарушена. Вторая точка – это точка, в которой агломерация, однажды установленная, поддерживает себя сама (устойчивая точка). Данный случай отражается графически бифуркацией типа томагавк.

Когда экономика характеризуется бифуркацией типа томагавк, она потребляет центростремительные силы для того, чтобы разорвать сложившееся равновесие, а затем поддерживать равновесие ассиметричное. Следовательно, если экономика начинает развитие с точки симметричного равновесия, а затем постепенно перемещает баланс в пользу агломерации, дальнейшее развитие может привести к точке разрыва.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что развитие агломерационного процесса во времени сопровождается потерей устойчивости и бифуркационными переходами в качественно новое состояние. Такие переходы могут осуществляться как плавно (мягкая бифуркация типа вил), так и скачкообразно, в виде катастроф (жесткая бифуркация типа томагавк).

Зачем необходимо знать форму бифуркации? При субкритической бифуркации (типа «томагавк») незначительные изменения в проводимой политике могут иметь катастрофические последствия. Суперкритическая бифуркация (типа «вилы») предполагает непрерывное возникновение агломерации без эффектов закрытости, поэтому вызывает гораздо менее драматические последствия пространственных изменений экономической политики.

Рассмотрим возможность определения типа бифуркации путем использования методики М. Пфлюгера и Дж. Зюдекума [8]. Тип бифуркации, который раскрывается в точке разрыва, может быть решен путем оценки третьей производной различия полезности для мобильных квалифицированных рабочих. Для реализации возьмем модель "ядро-периферия" Р. Форслида и Г. Оттавиано [9]. Экономика состоит из двух регионов,  $r = 1, 2$ , двух отраслей  $A$  (сельское хозяйство) и  $M$  (производство), и имеет два типа рабочих. Квалифицированные рабочие мобильны между регионами. Их общий фонд нормирован как единица, а доля  $\lambda_r$  находится в регионе  $r$ . Неквалифицированные рабочие географически неподвижны<sup>3</sup>, с  $\rho$  – обозначающим фактор производства в том или ином регионе.

Критический уровень меры свободы торговли  $\phi_b$ , на котором симметричное равновесие оказывается неустойчивым, можно определить из условия  $d(I_r - I_r^*)/d\lambda_r = 0$  при  $\lambda_r = 1/2$  [12]. Удобно применять методики, разработанные М. Пфлюгером и Дж. Зюдекумом [13], для определения точки разрыва. Они показывают, что точка разрыва  $\phi_b$  лежит там, где выполняется условие  $\lambda_r = 1/2$ :

$$-\left[ \frac{\partial V_r / \partial G_r}{\partial V_r / \partial \varpi_r} \right] = \frac{d\varpi_r / d\lambda_r}{dG_r / d\lambda_r} \Leftrightarrow \phi = \phi_b \quad (1)$$

Отметим, что  $-(\partial I_r^* / \partial G_r) / (\partial V_r / \partial \varpi_r) = \varpi_r / G_r$ , в данном случае (так как  $V_r = \varpi_r / G_r$ ) мы можем переписать (1), как  $[(1/\varpi_r) \cdot (d\varpi_r / d\lambda_r)] - [(1/G_r) \cdot (dG_r / d\lambda_r)] = 0$ . При этом

$$G_r = \left[ 1 + (G_r^M)^{-\epsilon} \right]^{\frac{1}{\epsilon}} \quad (2),$$

а

<sup>3</sup> Известны исследования, опровергающие данное теоретическое предположение. Так, например, было доказано, что две трети мигрантов в страны ОЭСР не имеют высшего образования. См.: [10, 11].

$$\omega_r = \frac{\rho \cdot [\sigma(\phi \cdot b_r + h_r) - (1 - \lambda_r)(1 - \phi^2)]}{[(\lambda_r - \sigma \cdot b_r)(1 - \lambda_r - \sigma \cdot h_r) - \lambda_r(1 - \lambda_r)\phi^2]} \quad (3).$$

Далее мы переходим к следующей неявной функции:

$$F(\phi, \sigma, \varepsilon) = \frac{1}{1+z} - \left[ \frac{(\sigma-1)[(1+\phi) - \sigma(1-\phi) - \sigma(\sigma-\varepsilon)(1-\phi)z]}{(1-\phi) - \sigma(1+\phi)(1+z)} \right] = 0, \quad (4)$$

где  $z \equiv 2 \frac{\varepsilon-1}{\sigma-1} (1+\phi)^{\frac{1-\varepsilon}{\sigma-1}}$ ;

$\phi \equiv \tau^{1-\varepsilon} \in [0,1]$  обозначает меру свободы торговли;

$\varepsilon$  – коэффициент эластичности замещения между промышленным сектором экономики и сельским хозяйством;

$\delta$  – коэффициент эластичности замещения внутри промышленного сектора;

$\tau$  – транспортные расходы промышленных товаров.

Тип бифуркации, который раскрывается в точке разрыва, может быть решен путем оценки третьей производной различия полезности для мобильных квалифицированных рабочих. Если третья производная, вычисленная в  $r=1/2$  и на уровне симметричного разрыва свободы торговли положительная, у нас катастрофическая бифуркация томагавк. Если она отрицательная – бифуркация вилы [14].

$$\tilde{V}_{(3)} \equiv \left. \frac{d^3(V_r - V_s)}{d\lambda_r^3} \right|_{\lambda_r=1/2, \phi=0} \quad \begin{cases} \tilde{V}_{(3)} > 0 \rightarrow \text{бифуркация томагавк} \\ \tilde{V}_{(3)} < 0 \rightarrow \text{бифуркация вилы} \end{cases} \quad (5).$$

С. Руссек определял тип бифуркации при исследовании взаимосвязи дифференциации мобильной рабочей силы и агломерационных процессов [15]. Он рассматривал два фактора производства: квалифицированную и неквалифицированную рабочую силу. За основу была взята модель М. Пфлюгера [16], позволившая определить тип бифуркации аналитически. Изменения бифуркации в случае с квалифицированной рабочей силой наиболее показательны, так как демонстрируют плавный агломерационный процесс. Если квалифицированная рабочая сила относительно немобильна, региональное распределение рабочей силы демонстрирует плавный переход от рассеивания до общей агломерации, тип бифуркации можно определить, как «вилы» (по-Пфлюгеру [16]). Если неквалифицированная рабочая сила относительно мобильна, то можно говорить о катастрофической агломерации, которая напоминает бифуркацию типа «томагавк» (по-Кругману [17]). Если неквалифицированная рабочая сила сталкивается с низкими расходами на передвижение (условие «не черной дыры» нарушается), то полная агломерация квалифицированных рабочих является единственно возможным условием стабильного равновесия при любом уровне торговых издержек [18, 19].

В работе «Дифференциация мобильности рабочей силы и агломерационные процессы» С. Руссек предлагает определять точку разрыва следующим образом [15]:

$$\phi_b = \frac{\alpha\bar{\rho} + \mu\bar{\rho} + \mu\sigma - \mu\bar{\rho}\sigma}{\alpha\bar{\rho} + \mu\bar{\rho} + \mu\sigma - \mu\bar{\rho}\sigma - 2\mu(2\sigma - 1)}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – удельный вес разнородных (гетерогенных) товаров в функции полезности;

$\bar{\rho}$  – отношение численности неквалифицированных работников к квалифицированным;

$\mu$  – константа, представляющая расходную часть промышленных товаров.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что определение типа бифуркации является принципиально важным моментом изучения агломерационного процесса. При субкритической бифуркации (типа «томагавк») незначительные изменения в проводимой политике мо-

<sup>4</sup> По предположениям М. Пфлюгера и Дж. Зюдекума, вклад неквалифицированной рабочей силы не влияет на точку разрыва. Это связано с тем, что включение заработной платы уравнение в мультипликативной форме и, следовательно, не влияет на относительные региональные зарплаты.

гут иметь катастрофические последствия. Суперкритическая бифуркация (типа «вилы») предполагает непрерывное возникновение агломерации без эффектов закрытости, поэтому вызывает гораздо менее драматичные последствия пространственных изменений экономической политики.

#### Литература

1. Fujita, M., and H. Ogawa. (1982). "Multiple equilibria and structural transition of nonmonocentric urban configuration." *Regional Science and Urban Economics*. 12: 161-196.
2. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. М.: Наука, 1997.
3. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
4. Fujita M., Krugman, P., Venables. A.J.. 1999. *The Spatial Economy. Cities, Regions and International Trade*. MIT Press, Cambridge, MA.
5. Зальпукаров М.-Г. М., Малинецкий Г.Г. Подлазов А.В. Обратная задача теории бифуркаций в динамических системах с шумом: Препринт. М.: Институт прикладной информатики им. М.В. Келдыша. – 2005, с. 4.
6. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: Едиториал УРСС, 2002.
7. Кравцов Ю.А., Бильчинская С.Г., Бутковская О.Я., Рычка И.А., Суровяткина Е.Д. Предбифуркационное усиление шума в нелинейных системах // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2001. – Том 120. – вып. 6 (12), стр. 1527-1534.
8. Pflüger M., Südekum J. On Pitchforks and Tomahawks // *Journal of Regional Science*, Vol. 51, No. 2, 2011, pp. 292–298.
9. Forslid R., Ottaviano G. An Analytically Solvable Core-Periphery Model // *Journal of Economic Geography*. 3, 2003. pp. 229-240.
10. Carrington W.J., Detragiache E. How big is the brain drain? IMF working paper. 98/102. 1998.
11. Docquier F., Marfouk A. International migration by education attainment, 1990-2000. // Özden C., Schiff M.W. (eds) *International migration, remittances and the brain drain*. Palgrave Macmillan, Washington, DC.
12. Puga D. The Rise and Fall of Regional Inequalities // *European Economic Review*, 43, 1999, pp.303-334.
13. Pflüger M., Südekum J. A Synthesis of Footloose-Entrepreneur New Economic Geography Models: When is Agglomeration Smooth and Easily Reversible? // *Journal of Economic Geography*, 8, 2008. pp. 39-54.
14. Grandmont J-M. *Nonlinear Difference Equations, Bifurcations and Chaos: An Introduction*. Lecture Notes No. 5. May, 1988. IMSSS – Economics Lecture Notes Series, Stanford, CA: Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences.
15. Russek S. Differential labour mobility and agglomeration // *Papers in Regional Science*. Volume 89, Number 3. August 2010.
16. Pflüger M. A simple, analytically solvable, Chamberlinian agglomeration model // *Regional Science and Urban Economics*. 34, 2004, pp. 565-573.
17. Krugman P. Increasing returns and economic geography // *Journal of Political Economy* 99. 1991. pp. 483-499.
18. Helpman E. The size of regions // Pines D., Sadka E., Zilcha I. (eds). *Topics in public economics: Theoretical and applied analysis*. Cambridge University Press, Cambridge. 1998.
19. Murata Y. Product diversity, taste heterogeneity, and geographic distribution of economic activities: Market vs. non-market interactions // *Journal of Urban Economics*. 53. 2003. pp. 126-144.

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕГИОНА

*Л.А. Резнякова  
г. Липецк, Россия*

Глобализация мировой экономики объективно обуславливает трансформацию сложившихся форм и способов хозяйствования, производственных и внешнеэкономических связей, что приводит к необходимости изменения приоритетов аграрной политики в стране. При этом главной задачей аграрной политики является повышение объемов производства сельскохозяйственной продукции, обеспечение сырьем предприятий пищевой и перерабатывающей продукции, развитие агропродовольственного рынка, внедрение прогрессивных технологий и развитие отраслей молочного животноводства, свиноводства, птицеводства и растениеводства.