

Для цитирования: Серков Л. А., Кожов К. Б. Межрегиональное распределение энергетического потенциала на основе пространственной автокорреляции // Журнал экономической теории. — 2020. — Т. 17. — № 4. — С. 799-810

<https://doi.org/10.31063/2073-6517/2020.17-4.5>

УДК 332.1

JEL H70, O21, R58

Л. А. Серков, К. Б. Кожов

Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: jefytt11@mail.ru)

## МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ<sup>1</sup>

*В статье предложен методологический подход и инструментарий для оценки условий межрегионального взаимодействия территорий России с точки зрения энергетических условий. Эти задачи реализованы с помощью обоснования, построения и анализа пространственного распределения энергетических потенциалов регионов. Построен интегральный индекс энергетического потенциала, который характеризует основные энергетические и экономические факторы развития регионов страны. Для расчета индекса использованы данные официальных сайтов Росстата и ведомственных организаций по 84 субъектам Российской Федерации. Энергетический потенциал рассчитан с использованием метода главных компонент. Межрегиональные взаимосвязи на основе этого индекса исследуются с помощью метода пространственной автокорреляции (метод Морана). Более подробно исследуются взаимосвязи регионов УрФО. Использование данного подхода позволяет выявить приоритетные направления энергоэкономического развития территорий, в частности, проанализировать пространственное развитие энергетики и экономики, осуществить поиск центров притяжения энергетических ресурсов, сфер их влияния на территории. Результаты работы могут быть использованы органами государственной власти и энергетическими компаниями при формировании планов по развитию энергетических систем и экономик регионов в рамках Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года.*

**Ключевые слова:** регион, индексная оценка, энергетический потенциал, межрегиональные связи, пространственная автокорреляция Морана, пространственное развитие, метод главных компонент

### Введение

Электроэнергетика является не только одной из отраслей промышленности, но и одной из ключевых инфраструктур, определяющих характер пространственного развития территорий и объединяющих регионы своими большими системами (Петров и др., 2017). Развитие территорий страны, осуществляемое, в частности, в соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации, возможно только в увязке с оптимальным развитием энергетических систем. Разработке методологического подхода к пространственному развитию регионов страны и входящих в них территориальных систем и моделированию пространственных процессов посвящены работы (Лаврикова и др., 2019; Татаркин и др., 2013; Курушина, Петров, 2018; Демидова,

Иванов, 2016). Исследования интенсификации межрегионального взаимодействия различных систем описаны Ю. В. Дубровской (2017). С учетом этого в электроэнергетике выделяют сектор производства и передачи электроэнергии и сектор ее потребления экономикой и населением. Продукция электроэнергетики специфична, так как электроэнергию нельзя заменить другим видом энергии. Без электроэнергии в современном мире невозможно существование предприятий и домохозяйств. Дефицит электроэнергии приводит к увеличению потерь в экономике и росту тарифов на электроэнергию (Некрасов и др., 2001). Вследствие этого происходит снижение инвестиционной привлекательности территорий для размещения на них новых промышленных объектов, а также ускоренными темпами идет отток населения из депрессивных регионов (Петров, Кожов, 2019).

<sup>1</sup> © Серков Л. А., Кожов К. Б. Текст. 2020.

При этом необходимо отметить, что регионы Урала, Сибири и Дальнего Востока характеризуются производством энергоемкой продукции при низкой плотности населения, в связи с чем объясняющие переменные для моделирования объема и динамики энергопотребления в большей мере должны быть связаны не с трудом, а с капиталом и добычей природных ресурсов, а также с конечными стоимостными результатами в виде валового регионального продукта (ВРП). В противовес этому в европейской части страны, особенно в мегаполисах, высокая плотность населения и особо критичны экологические ограничения, и преимущественное развитие получают предприятия с большей трудоемкостью, но меньшей экологической нагрузкой, поэтому в качестве ведущего фактора, влияющего на электропотребление, может рассматриваться численность населения (Гальперова, 2011) и связанные с ним инфраструктурные и производственные факторы, а в восточной части — объемы производства на крупных промышленных предприятиях (в основном на энергоемких производствах, привязанных к мощным электрогенерирующим комплексам). Также на уровень и динамику электропотребления в субъектах Российской Федерации влияют насыщенность их территорий магистральными транспортными сетями (газо- и нефтепроводы с высокоэнергоемкими перекачивающими станциями, электрифицированный железнодорожный транспорт), объемы строительства и стройиндустрии, наличие особо энергоемких производств (отдельных отраслей химии и металлургии).

Приходится учитывать при моделировании электропотребления структурно-технологические факторы: это сравнительно высокая по отношению к среднемировым тенденциям энергоемкость производственных процессов. В федеральной программе по повышению энергоэффективности отмечено превышение энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации относительно среднемирового в 2,5 раза. Такое положение вызвано причинами различного рода — от естественных (климат и территория) до социально-экономических (низкие темпы обновления капитала ввиду инвестиционного голода, нерациональная тарифная ситуация). Характерны для формирования структуры электропотребления отдельные конкурентные преимущества, связанные, например, с экспортной конъюнктурой энергоемкого алюминия, производственные мощности по производству которого работают с практически полной загрузкой на самой дешевой элек-

троэнергии сибирских ГЭС. В городах-миллионниках, напротив, основной объем электропотребления приходится на непроизводственную сферу. Также высокий расход электроэнергии в них приходится на городской электрический транспорт, строительство, сферу услуг и социально-бытового обслуживания и связан с высоким уровнем жизни жителей Москвы и других крупнейших городов, хотя и значительно отстающих от Москвы в этом отношении.

Для покрытия потребности в электроэнергии в субъектах Российской Федерации построены электростанции различных типов в зависимости от различных территориально-экономических условий. Массовое строительство атомных электростанций проведено в европейской части страны ввиду отсутствия там достаточного количества топливно-энергетических ресурсов. Генерирующие мощности на органическом топливе работают на угле или природном газе. Крупные угольные ГРЭС размещены на Урале и в восточных регионах и ориентированы на сжигание экибастузского, кузнецкого и канско-ачинского углей. В нефтегазовых регионах Западной Сибири электростанции построены вблизи месторождений природного и попутного газа. Крупные гидроэлектростанции сооружаются в основном на реках Сибири, средние ГЭС — на реках Дальнего Востока. ТЭЦ — когенерационные электростанции, вырабатывающие как электрическую, так и тепловую энергию на органическом топливе, размещены в привязке к городам и потребляющим тепло промышленным предприятиям. Они построены в абсолютном большинстве субъектов Российской Федерации. Более подробно вопросы перспективного развития единой энергосистемы страны и региональных энергосистем рассмотрены в работах (Воропай и др., 2019; Кононов и др., 2009; Шевелева, 2006).

В отдаленных районах страны (на Камчатке и др.) электроэнергетика представлена автономными системами, не имеющими сетевого газоснабжения и электрической связи с единой энергосистемой страны (ЕЭС России). Там используются преимущественно дизельные электростанции малой мощности, а в последнее время начали строиться электростанции на возобновляемых источниках энергии (ветровые и солнечные электростанции). Эти электростанции имеют высокую себестоимость производства электроэнергии и, как следствие, в районах их размещения наблюдаются высокие тарифы на электроэнергию. Указанные территории работают в режиме самобалансирования электроэнергии и вынуждены иметь

большие резервы мощности на электростанциях, что также негативно влияет на ценовые показатели по электроэнергии. В Российской Федерации такие технологически изолированные территориальные электроэнергетические системы сконцентрированы на северо-востоке страны: это Камчатский край, Магаданская область, большая часть Республики Саха, Сахалинская область, Чукотский и Таймырский автономные округа.

Региональная совокупность ресурсов, технологических возможностей, электроэнергетических объектов, условий их работы образует электроэнергетический потенциал регионов. Компонентами этого потенциала являются природно-ресурсный, производственный, трудовой и инвестиционный региональные потенциалы. При формировании электроэнергетического потенциала (в дальнейшем — энергетического потенциала) следует учитывать основные энергетические показатели (выработка электроэнергии, электропотребление, цены на электроэнергию) и экономические (ВРП, численность населения, инвестиции в основной капитал). Энергетический потенциал предлагается измерять и анализировать посредством агрегированного индекса, аккумулирующего вышеприведенные показатели.

Целями данной публикации являются формирование интегрального индекса энергетического потенциала региона посредством метода главных компонент и анализ пространственного распределения этого потенциала методами пространственной эконометрики по субъектам РФ. Особое внимание в публикации уделяется пространственному распределению энергетического потенциала по регионам Уральского федерального округа.

#### **Методический подход к формированию энергетического потенциала и анализу межрегионального распределения потенциала в разрезе регионов РФ**

В настоящей работе для агрегирования энергетических и экономических показателей в единый индекс используется метод главных компонент (James et al., 2013). Этот метод позволяет найти наилучшее представление линейной свертки достаточно большого количества показателей в один фактор. Получаемый интегральный индекс, рассматриваемый в статье, определяется посредством определения значений такой свертки. Данный индекс представляет собой значения первых главных компонент каждого региона и характеризует его энергетический потенциал. Аналогичные

исследования по получению агрегированных индексов с использованием метода главных компонент проводил Ю. Н. Гаврилец (2016, 2018, 2019).

Метод главных компонент позволяет визуализировать сложный набор данных, увидеть и выбрать самые информативные переменные, увидеть особенные наблюдения и, наконец, перейти к некоррелированным переменным (избежать мультиколлинеарности).

В общем случае число главных компонент равно числу анализируемых переменных и каждая главная компонента является линейной комбинацией всех переменных (регрессоров) со своими отдельными весами (факторными нагрузками) для каждой компоненты, то есть  $i$ -я компонента  $PC_i$  равна:

$$PC_i = v_{i1}x_1 + v_{i2}x_2 + \dots + v_{ik}x_k, \quad (1)$$

где  $k$  — число переменных  $x$ ,  $v_{i1}, \dots, v_{ik}$  — веса, с которыми каждая переменная входит в  $i$ -ю

компоненту и при этом  $\sum_{j=1}^k v_{ij}^2 = 1$  (условие нор-

мализации)<sup>1</sup>. При этом выборочная корреляция между двумя любыми компонентами равна нулю и суммарный разброс значений (суммарная выборочная дисперсия) всех исходных переменных равен суммарной выборочной дисперсии всех главных компонент. Последнее свойство очень важное, так как эти компоненты подбираются так, чтобы выборочная дисперсия каждой компоненты была максимально возможной при условии их независимости друг от друга. Поэтому в большинстве случаев выборочная дисперсия первой главной компоненты вбирает в себя максимально возможную суммарную выборочную дисперсию всех исходных переменных. Поэтому представляется возможным заменить  $k$  исходных переменных на гораздо меньшее число переменных, являющихся главными компонентами. В данной публикации шесть исходных переменных, характеризующих энергетические и экономические характеристики региона, заменяются на одну переменную — первую главную компоненту. Именно значение первой главной компоненты является энергетическим потенциалом региона.

Большинство методик для проверки гипотезы о наличии пространственной автокорре-

<sup>1</sup> С точки зрения линейной алгебры для вектора централизованных переменных  $\bar{X} = 0$ ,  $PC_i = X'V_i$ , а квадрат длины  $i$ -й компоненты  $|PC_i|^2 = \lambda_i$ , где  $\lambda_i$  — собственные числа, а вектора весов  $V_i$  — собственные векторы матрицы  $X'X$ .

ляции служат только для проверки гипотезы о большем сходстве по некоторому признаку близко расположенных регионов и более отдаленных. В случае сложной структуры, когда отношения между соседними территориями имеют нелинейный характер, более корректные результаты дает применение метода Морана (Moran, 1950). Для выявления пространственной локализации используются глобальный  $I_m$  и локальный (LISA)  $I_{mi}$  индексы и диаграмма рассеяния Морана (Наумов, 2019; Аверина, Сиротин, 2020). Этот подход обеспечивает достаточную простоту интерпретации.  $I_m$  принимает значения от  $-1$  до  $1$ . Если результат расчетов значим и положителен, то можно говорить о положительной пространственной автокорреляции. В экономическом смысле это соответствует кластеризации (кооперации) регионов России с похожими уровнями энергетического потенциала. В случае отрицательных значений территории обособлены и соседние регионы существенно различаются по распределению потенциала. Локальный индекс Морана характеризует степень взаимовлияния потенциала определенного региона на потенциал остальных территорий, связанных с данным субъектом.

Выражение для расчета глобального индекса Морана распределения энергетического потенциала по регионам РФ ( $I_m$ ) имеет следующий вид:

$$I_m = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \mu)(x_j - \mu)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}, \quad (2)$$

где  $x$  — анализируемый потенциал региона;  $\mu$  — среднее значение анализируемого потенциала;  $w_{ij}$  — элемент матрицы пространственных весов для регионов  $i$  и  $j$ ;  $N$  — число анализируемых регионов;  $S_0$  — сумма всех весов пространственной матрицы,  $S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}$ . Значимость этого индекса Морана может быть проверена традиционным методом  $z$ -статистики.

Локальный индекс Морана  $I_{mi}$ , характеризующий степень взаимовлияния потенциала определенного ( $i$ -го) региона на потенциал остальных территорий<sup>1</sup>, связанных с данным субъектом, определяется как

$$I_{mi} = N \frac{(x_i - \mu) \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_j - \mu)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}. \quad (3)$$

Пространственную автокорреляцию можно считать положительной, если глобальный индекс  $I_m$  больше ожидаемого значения индекса Морана  $E(I) = -\frac{1}{N-1}$ . В противном случае ав-

токорреляция отрицательна. Равенство индекса Морана его ожидаемому значению говорит о случайном характере связей между анализируемыми регионами.

### Обсуждение результатов

Информационной основой исследования является официальная статистика Росстата. В публикации использовались следующие данные за 2018 год в разрезе 84 регионов РФ: выработка электроэнергии (млн квт · ч), электропотребление (млн квт.ч), среднееотпускная цена электроэнергии для конечных потребителей на розничном рынке (руб/квт · ч), ВРП (млн руб), численность населения (тыс. чел.), инвестиции в основной капитал (млн руб.). Статистические данные по Тюменской области рассматривались отдельно от данных по Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому автономным округам. Агрегирование этих показателей в единый интегральный индекс осуществлялось с помощью метода главных компонент. Предварительно все показатели нормировались<sup>2</sup>. При этом значения первой главной компоненты для каждого региона, на которую приходится максимум доли объясненной дисперсии, можно считать энергетическим потенциалом региона.

В таблице 1 приведена матрица факторных нагрузок метода главных компонент. В приведенной таблице  $PC_1, \dots, PC_6$  — обозначения шести главных компонент. Из таблицы следует, что первая главная компонента ( $PC_1$ ) объясняет 63 % дисперсии, что позволяет считать ее энергетическим потенциалом региона. Также следует отметить, что все факторные коэффициенты для первой главной компоненты положительны, кроме коэффициента при цене на электроэнергию. При этом значения положительных коэффициентов примерно одинаковые, что указывает на равную долю каждого

<sup>1</sup> Степень взаимовлияния потенциала между двумя территориями характеризует матрица взаимовлияния регионов  $LISA_{ij} = z_i z_j w_{ij}$ , где  $z_i, z_j$  — стандартизованные отклонения потенциала каждого региона от среднего значения.

<sup>2</sup> Нормировка заключалась в делении отклонения от среднего значения каждого показателя на стандартное отклонение.

Таблица 1

## Матрица факторных нагрузок энергетического потенциала регионов

Фактор	$PC_1$	$PC_2$	$PC_3$	$PC_4$	$PC_5$	$PC_6$
Электропотребление	0,458	-0,257	0,316	-0,131	0,732	-0,263
Выработка электроэнергии	0,399	-0,320	0,621	0,087	-0,577	0,104
Цена на электроэнергию	-0,104	-0,205	0,123	-0,049	0,091	0,0009
ВРП	0,457	0,309	-0,293	0,157	-0,277	-0,712
Численность населения	0,447	0,198	-0,245	-0,786	-0,112	0,352
Инвестиции	0,459	0,215	-0,254	0,620	0,177	0,537
Доля объясненной дисперсии	0,631	0,193	0,103	0,044	0,018	0,009

Таблица 2

## Характеристики формирования квадрантов пространственной диаграммы рассеяния Морана

Квадрант	$z_i$	$Wz_i$	Автокорреляция	Внутренние территории	Окружающие территории
<i>HH</i>	$z_i > 0$	$Wz_i > 0$	положительна	$z_i$ — велико	$z_i$ — велико
<i>HL</i>	$z_i > 0$	$Wz_i < 0$	отрицательна	$z_i$ — велико	$z_i$ — мало
<i>LH</i>	$z_i < 0$	$Wz_i > 0$	отрицательна	$z_i$ — мало	$z_i$ — велико
<i>LL</i>	$z_i < 0$	$Wz_i < 0$	положительна	$z_i$ — мало	$z_i$ — мало

фактора (кроме цены) в формировании энергетического потенциала.

Полученный интегральный индекс позволяет сравнивать регионы по значениям энергетического потенциала.

Для выявления пространственных особенностей распределения энергетического потенциала использовался метод Морана. Пространственная автокорреляция по методике Морана осуществлялась с использованием двух типов матриц расстояний: по дорогам между административными центрами субъектов РФ и по линейным расстояниям. Анализ показал, что полученные с использованием двух типов весовых матриц локальные и глобальные индексы Морана различались несущественно. Полученное значение глобального индекса Морана свидетельствует о наличии положительной автокорреляции распределения энергетического потенциала между всеми регионами. Характеристики пространственной автокорреляции показывают наличие кластеризации территорий в пространстве. По данным исследования в разрезе 84 регионов построена пространственная диаграмма рассеяния Морана (рис. 1).

Для анализа построенная диаграмма рассеяния Морана разделена на 4 квадранта (*LH*, *HH*, *LL*, *HL*), как показано на рисунке 1. Квадранты позволяют сгруппировать наблюдения по признаку пространственной автокорреляции. Принципы формирования квадрантов показаны в таблице 2. Из диаграммы (рис. 1) видно, что исследуемые 84 субъекта РФ

распределились по всем четырем вышеуказанным кластерам (квадрантам).

Следует отметить, что территории (кластеры) с высокой концентрацией ресурсов находятся в квадранте *HL*. Но к этим кластерам предлагается относить лишь те, значение локального индекса Морана которых находится выше верхней границы разброса отклонения его значений, оцененных по всем регионам:

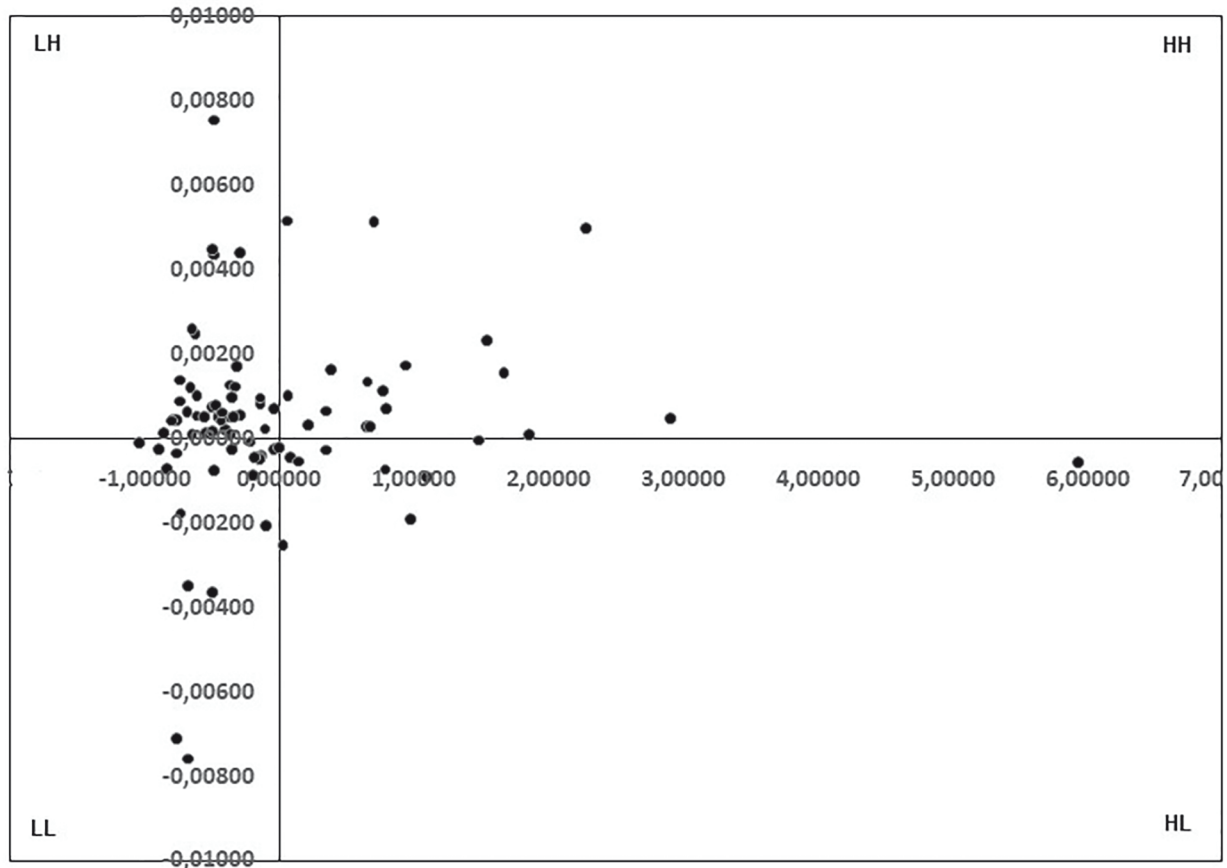
$$I_{mi} > \left( \bar{I}_{mi} + \sqrt{\frac{\sum (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2}{n}} \right). \quad (4)$$

Аналогично, не все территории, находящиеся в квадранте *LH* на диаграмме рассеяния, примыкают (притягиваются) к территориям с высокой концентрацией ресурсов, а лишь те, для которых значение локального индекса Морана находится ниже верхней границы разброса отклонения его значений, оцененных по всем регионам, то есть

$$I_{mi} < \left( \bar{I}_{mi} + \sqrt{\frac{\sum (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2}{n}} \right). \quad (5)$$

В работе (Павлов, Королева, 2014) было предложено все выявленные кластеры характеризовать как ядра, спутники-противовесы и другие. С учетом этого рассматриваемые в статье территории были отнесены к соответствующим кластерам.

Рассмотрим кластер «Ядро» — это территории, лежащие в квадранте *HL*, имеющие высокие собственные значения  $z$  и окруженные



**Рис. 1.** Пространственная диаграмма рассеяния для энергетического потенциала в разрезе субъектов РФ по данным за 2018 г. По оси  $X$  отображаются стандартизованные отклонения региональных уровней энергетического потенциала от среднероссийского значения  $z_i$ . По оси  $Y$  — географически взвешенные стандартизованные уровни энергетического потенциала  $Wz_i$ . Единицы измерения отсутствуют

территориями с низкими  $z$ , с отрицательной автокорреляцией. Это территории с экстремальным показателем  $z$ , притягивающие расположенные рядом территории с низким  $z$ . Всего по распределению потенциала выявлено 9 таких территорий, из них только три с  $z > 1$  (г. Москва (5,92), Иркутская область (1,48), Республика Татарстан (1,09)). Несомненными лидерами здесь являются г. Москва и Иркутская область. Москва имеет значительно превышающие все субъекты РФ показатели по численности, ВРП и инвестициям, и это в сильной степени влияет на рост электропотребления как в социальной, так и в промышленной сферах, размещенных в данном мегаполисе. Производство электроэнергии в Москве не покрывает ее электропотребления и дефицит будет расти, но наращивать мощности электростанций для полной ликвидации дефицита нецелесообразно как из экологических, так и экономических соображений.

Рассмотренный фактор является притягивающим для близлежащих территорий и будет способствовать привлечению мощностей из других территорий, и в основном

из Московской области, для покрытия баланса по электроэнергии в г. Москве. Это подтверждает полученный показатель  $Wz_i = -0,00055$  по Москве. Иркутская область имеет низкие ценовые показатели по электроэнергии (2,19) благодаря большому количеству электроэнергии, вырабатываемой на местных гидроэлектростанциях (суммарное производство электроэнергии в области превышает даже этот показатель по Москве). Наличие в области большого объема достаточно дешевой электроэнергии привело к широкомасштабному развитию в ней электроемких производств алюминия. Электроемкое производство алюминия в свою очередь привело к росту электропотребления. На развитие производственных мощностей направляется все больше инвестиций (в том числе и иностранных — из Китая).

Кластер «Спутник-противовес» — это территории, лежащие в квадранте  $HH$ , имеющие высокие собственные значения  $z$ , окруженные территориями с высокими  $z$ , с положительной автокорреляцией. Эти территории похожи на территории с высокими показателями  $z$ , отнесенные к кластеру «Ядро», но их показате-

тели все же ниже чем в *HL*. Они не являются ядрами (нет превосходства над окружающими территориями), но и не являются периферией (собственные значения слишком высокие). Их взаимовлияние в основном сконцентрировано на ядрах. Всего по распределению потенциала выявлено 17 таких территорий, из них только 5 с  $z > 1$ : это ХМАО (2,90), Московская область (2,27), Красноярский край (1,85), Свердловская область (1,67), г. Санкт-Петербург (1,54). Здесь можно выделить ХМАО и Московскую область. Московская область явно тяготеет к ядру — городу Москва, и это показывает  $Wz_i = 0,00497$ . ХМАО имеет высокий показатель  $z$ , но не стал ядром, так как находится в окружении таких же сильных регионов (Красноярский край и Свердловская область) и не смог стать их лидером.

Кластер «Периферия» — это территории, лежащие в квадранте *LH*, имеющие низкие собственные значения  $z$  и окруженные территориями с высокими  $z$ , с отрицательной автокорреляцией. К данному типу относятся территории, на которые распространяется влияние территорий ядер и спутников-противовесов из квадрантов *HL* и *HH*. Всего по распределению потенциала выявлено 38 таких территорий, из них все с  $z < 1$ . Следует отметить, что в квадрант *LH* первоначально попадает Камчатский край, который не имеет территориального влияния ядер, так как они просто отсутствуют на Дальнем Востоке ввиду крайне низких показателей  $z$  по всему этому региону. При этом значение локального индекса Морана для Камчатского края намного меньше, чем для близлежащих территорий (Магаданская и Сахалинская области, Хабаровский край), и, соответственно, согласно условию (5) эту территорию нельзя относить к кластеру «Периферия». Территорию Камчатского края следует отнести к кластеру «Низкоуровневые территории» (квадрант *LL*), наряду с близлежащими территориями.

Кластер «Низкоуровневые территории» — это территории, лежащие в квадранте *LL*, имеющие низкие собственные значения  $z$  и окруженные территориями с низкими  $z$ , с положительной автокорреляцией. Эти территории практически не испытывают влияния ядер и спутников-противовесов. Всего по распределению потенциала выявлено 20 таких территорий, из них наименьшее значение имеет Чукотский автономный округ, который не имеет территориального влияния ядер и окружен такими же низкоуровневыми территориями Дальнего Востока.

Более подробное изучение пространственного распределения потенциала проведено на примере 6 субъектов Уральского федерального округа (УрФО): Курганская, Свердловская и Челябинская области, а также Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО), Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯМАО) и Тюменская область без АО (Юг Тюмени). При этом все эти субъекты, кроме Курганской области, по распределению потенциала входят в кластер «Спутник-противовес» (квадрант *HN* на диаграмме рассеяния). Курганская область входит в кластер «Периферия» (квадрант *LH*). В таблице 3 приведены исходные показатели анализируемых регионов УрФО.

На рисунке 2 приведено сравнение потребления и производства электроэнергии на территориях УрФО как значимых показателей, участвующих в формировании энергетического потенциала. Наибольшее значение производства электроэнергии (принято за 100 %) наблюдается в ХМАО. Самый низкий уровень выработки электроэнергии — всего 4 % — отмечается в Курганской области, которая наряду с Челябинской областью и ЯНАО является дефицитной (потребление электроэнергии превышает ее производство). Наиболее избыточными регионами в УрФО являются ХМАО (избыток 12 296,2 млн кВт · час) и Свердловская область (избыток 6695,8 млн кВт · час).

Для сравнения в таблице 4 приведены полученные значения энергетического потенциала и показателей метода Морана для рассматриваемых регионов. Для удобства сравнения значения потенциала перенормированы в десятибалльную шкалу. Как следует из таблицы, максимальными значениями потенциала обладают Ханты-Мансийский автономный округ и Свердловская область. Минимальное значение потенциала — у Курганской области.

Как уже отмечалось выше, локальный индекс Морана  $I_{mi}$  характеризует степень влияния потенциала определенного региона на потенциал всех территорий, в том числе, в наибольшей степени, близлежащих территорий, связанных с данным субъектом. Из таблицы 4 следует, что локальный индекс Морана для Свердловской и Челябинской областей превышает аналогичный индекс для ХМАО, хотя энергетический потенциал ХМАО гораздо выше (особенно по сравнению с Челябинской областью). Это свидетельствует о том, что по степени влияния потенциала на потенциал соседних территорий Свердловская и Челябинская области выглядят предпочтительнее по сравнению с ХМАО.

Таблица 3

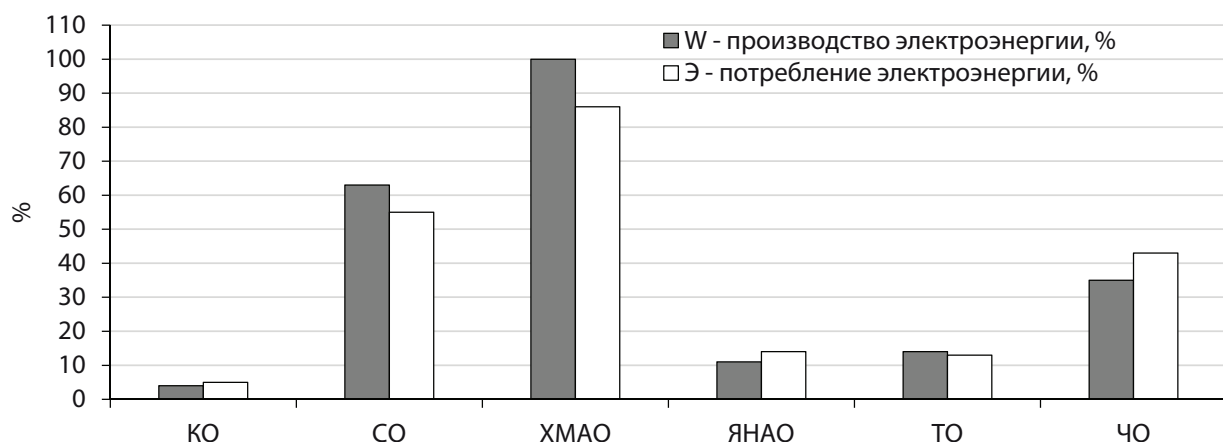
## Значения исходных показателей по территориям УрФО по данным за 2018 г.

Показатель	Значения по субъектам УрФО					
	Курган. область	Свердловская область	ХМАО	ЯНАО	Юг Тюмени	Челябинская область
Потребление электроэнергии, млн кВт·час	4392,5	48304,2	74803,8	12278	11081,3	37731,2
Производство электроэнергии, млн кВт·час	3200	55000	87100	9500	12200	30600
Среднеотпускная цена электроэнергии для конечных потребителей на розничном рынке электроэнергии, руб./кВт·ч	5,03	3,45	3,59	3,59	3,59	3,67
Валовой региональный продукт, млн руб.	213032,1	2277576	4447476	3083545	1259423	1473728
Численность населения (оценка на конец года), тыс. чел.	835	4316	1664	541	1518	3476
Инвестиции в основной капитал, млн руб.	27098	318008	922088	1024427	380270	259366

Таблица 4

## Значения энергетического потенциала и показателей в методе Морана для регионов УрФО

Показатель	Значения по субъектам РФ					
	Свердловская область	Курганская область	Челябинская область	Тюменская область без ХМАО	ХМАО	ЯНАО
$z_i$	1,667	-0,649	0,937	0,383	2,899	0,791
$Wz_i$	0,00155	0,00259	0,00173	0,00164	0,00046	0,00071
$I_{mi}$	0,002577	-0,001684	0,001618	0,000628	0,00135	0,00059
Квадрант	НН	ЛН	НН	НН	НН	НН
Энергетич. потенциал	7,6	0,3	4,5	2,8	10	3,9



Обозначения: КО — Курганская область; СО — Свердловская область; ТО — Тюменская область (без ХМАО и ЯНАО); ЧО — Челябинская область. W — производство электроэнергии, %; Э — потребление электроэнергии, %

Рис. 2. Производство и потребление электроэнергии по данным за 2018 г. по 6 субъектам УрФО, % (источник: составлено авторами)



Для объяснения полученных результатов следует отметить, что субъекты УрФО территориально близки друг к другу и обладают достаточно развитыми социально-экономическими и транспортно-энергетическими связями. При этом отличительной особенностью рассматриваемых субъектов является их географическое расположение от северных границ РФ, упирающихся в Северный Ледовитый океан, и до южных границ РФ, расположенных вдоль границы с Республикой Казахстан. Западно-восточное направление характеризуют срединные территории УрФО, через которые проходит транспортно-энергетический коридор, связывающий европейскую часть страны и сибирские и дальневосточные территории. Таким образом, можно выделить северные территории Уральского федерального округа — ХМАО и ЯНАО, южные территории — Челябинскую и Курганскую области, срединные территории — Свердловскую область и Юг Тюмени. Развитие производств, характеризующих северные территории (ХМАО и ЯНАО), в основном обусловлено добычей полезных ископаемых (природный газ на Ямале и нефть в Среднем Приобье) и транспортировкой их по магистральным газопроводам и нефтепроводам. В последнее время к ним добавилось производство сжиженного природного газа (СПГ) на Ямале и поставка его из порта Сабетта морским путем на газовозах в Европу. Этим обусловлены значительные инвестиции в развитие данных территорий и высокие уровни ВРП. При этом необходимо отметить, что из-за суровых природно-климатических условий на территориях ХМАО и ЯНАО они мало заселены и соответственно имеют низкий показатель по численности населения. В части энергетических показателей на этих территориях можно отметить добывающие и транспортирующие сырье производства, которые имеют высокую энергоемкость и, как следствие, характеризуются высокими уровнями электропотребления. По производству электроэнергии ХМАО и ЯНАО различаются. В ЯНАО ввиду резкого удорожания строительства, обусловленного тяжелыми климатическими условиями, наблюдается недостаточное количество собственных источников электроэнергии и дефицит электроэнергии покрывается передачей ее по линиям электропередач из избыточного по мощности электростанций ХМАО. На южных территориях УрФО отмечается значительная неравномерность в развитии территорий — Челябинской и Курганской областей. Наличие в Челябинской области большого

объема энергоемких металлургических предприятий привело к достижению высоких уровней электропотребления. Челябинская область по сравнению с Курганской также имеет более высокие уровни ВРП и инвестиции. В части баланса электроэнергии Челябинская область хотя и является дефицитной и ее потребности не покрываются выработкой на собственных электростанциях, но дефицит незначительный и вполне может быть покрыт за счет избытков электроэнергии в других энергосистемах. Курганская область является депрессивным и энергодефицитным регионом и имеет самые низкие показатели среди всех субъектов УрФО. Негативным фактором для Курганской области является наличие в ней наиболее высоких цен на электроэнергию. Свердловская область, как и Челябинская, имеет высокую долю обрабатывающей промышленности (развитый металлургический комплекс и широкий спектр машиностроительных предприятий), и поэтому здесь наблюдаются высокие показатели по электропотреблению, ВРП и инвестициям в основной капитал. Юг Тюмени характеризуется аграрно-промышленными предприятиями и имеет средние значения показателей среди субъектов УрФО. Указанные тенденции в развитии территорий УрФО подтверждаются проведенными исследованиями по методу Морана и способствуют дальнейшему пространственному развитию и повышению взаимозависимости этих субъектов в рамках макрорегиона Урал.

### Заключение

В итоге проведенных исследований на основе метода главных компонент сформирован индекс, характеризующий энергетический потенциал, являющийся важнейшим фактором экономической безопасности регионов. Оценены пространственные особенности энергоэкономического состояния территорий РФ и, более подробно, территорий Уральского федерального округа на основе пространственной эконометрики (метод Морана). Выполненные исследования и полученные оценки глобального и локального индексов для территорий различных типов подтверждают применимость метода главных компонент и метода Морана для решения поставленной задачи по определению распределения энергетического потенциала между территориями РФ и макрорегиона Урал (в нынешних границах УрФО). В процессе настоящего исследования получил развитие инструментарий и опыт оценки взаимодействия регио-

нов различного типа в промышленно-технологическом и инфраструктурном развитии. Направлением дальнейших исследований может быть расширение модельно-методического инструментария для компаративного и стратегического анализа взаимодействия макрорегионов России с Республикой Беларусь

в рамках их экономического сближения. Результаты работы могут быть использованы органами государственной власти и энергетическими компаниями при формировании планов по развитию энергетических систем и экономик регионов в рамках Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года.

### Благодарность

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-510-0002 (Бел\_а) «Инструментарий оценки взаимодействия регионов России и Беларуси в промышленно-технологическом развитии и обоснования его приоритетов в условиях углубления интеграционных процессов и глобальных вызовов».*

### Список источников

- Аверина Л. М., Сиротин Д. В.* Оценка пространственных эффектов от инновационной активности промышленно развитых регионов РФ // Экономика региона. — 2020. — Т. 16. — Вып. 1. — С. 268–282. — DOI: 10.17059/2020-1-20.
- Гаврилец Ю., Клименко К., Кудров А.* Статистический анализ факторов социальной напряженности в России // Экономика и математические методы. — 2016. — № 1. — С. 45–66.
- Гаврилец Ю. Н., Никитин С. А., Черненко М. В.* Оценка населением качества жизни и социальная стабильность в регионах России. — М.: Институт прикладной математики имени В. Г. Келдыша, 2018.
- Гаврилец Ю. Н., Черненко М. В., Никитин С. А.* Агрегированные индексы мнений населения о качестве жизни в регионах России // Экономика и математические методы. — 2019. — № 1. — С. 101–115.
- Гальперова Е. В.* Энергопотребление населением и уровень жизни // Энергетическая политика. — 2011. — № 3. — С. 34–41.
- Демидова О. А., Иванов Д. С.* Модели экономического роста с неоднородными пространственными эффектами. На примере российских регионов // Экономический журнал Высшей школы экономики. — 2016. — Т. 20. — № 1. — С. 52–75.
- Дубровская Ю. В.* Инструменты и институты активизации межрегионального взаимодействия в отечественной экономике // Вестник Омского университета. — 2017. — № 4 (60). — С. 34–44.
- Использование кластерного подхода в модернизации экономического пространства Российской Федерации / под ред. акад. РАН А. И. Татаркина. — Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2013. — 559 с.
- Кононов Ю. Д., Гальперова Е. В., Кононов Д. Ю.* Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. — Новосибирск: Наука, 2009. — 178 с.
- Курушина Е. В., Петров М. Б.* Критерии успешности проектов пространственного развития на основе межрегиональной интеграции // Экономика региона. — 2018. — Т. 14. — № 1. — С. 176–189. — DOI: 10.17059/2018-1-14.
- Лаврикова Ю. Г., Акбердина В. В., Суворова А. В.* Согласование приоритетов научно-технологического и пространственного развития промышленных регионов // Экономика региона. — 2019. — Т. 15. — № 4. — С. 1022–1035. — DOI: 10.17059/2019-4-5.
- Наумов И. В.* Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала территорий методами пространственного моделирования // Экономика региона. — 2019. — Т. 15. — Вып. 3. — С. 720–735. — DOI: 10.17059/2019-3-8.
- Некрасов А. С., Синяк Ю. В., Узяков М. Н.* Электроэнергетика России: экономика и реформирование // Проблемы прогнозирования. — 2001. — № 5. — С. 12–17.
- Обоснование развития электроэнергетических систем: Методология, модели, методы, их использование / Н. И. Воропай, С. В. Подковальников, В. В. Труфанов и др.; отв. ред. Н. И. Воропай. — Новосибирск: Наука, 2015. — 448 с.
- Павлов Ю. Н., Королева Е. Н.* Пространственные взаимодействия: оценка на основе глобального и локального индексов Морана // Пространственная экономика. — 2014. — № 3. — С. 95–110. — DOI: 10.14530/se.2014.3.95-110.
- Петров М. Б., Кожов К. Б.* Оценка депрессивности регионального энергетического комплекса на основе кластерного анализа // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2019. — № 3 (43). — С. 89–101.
- Проблемы инфраструктурного обеспечения пространственного социально-экономического развития макрорегионов / под ред. М. Б. Петрова. — Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2017. — 233 с.
- Шевелева Г. И.* Инвестиции и корпоративное управление в электроэнергетике // ЭКО. — 2006. — № 8. — С. 99–108.
- James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R.* An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. — Springer, New York, NY, 2013. — 418 p.
- Moran P.* Notes on Continuous Stochastic Phenomena // Biometrika. — 1950. — Vol. 37. — P. 17–23.

### Информация об авторах

**Серков Леонид Александрович** — кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Лаборатории моделирования пространственного развития территорий, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: dsge2012@mail.ru).

**Кожов Константин Борисович** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: jefytt11@mail.ru).

For citation: Serkov, L. A., & Kozhov, K. B. (2020). Interregional Distribution of Energy Potential Based on Spatial Autoregression. *Zhurnal Ekonomicheskoy Teorii* [Russian Journal of Economic Theory], 17 (4), 799-810

**Serkov L. A., Kozhov K. B.**

Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
(Ekaterinburg, Russian federation; e-mail: jefytt11@mail.ru)

### Interregional Distribution of Energy Potential Based on Spatial Autoregression

*The article proposes a methodological approach for assessing the conditions of interregional interaction of Russian regions in terms of energy conditions. To this end, we substantiate and analyze the spatial distribution of Russian regions' energy potential. An integral index of energy potential is constructed, which characterizes the main energy and economic factors of regional development in Russia. To calculate the index, we used the statistical data from the Russian Federal Statistics Service (Rosstat) and departmental organizations for 84 regions. The energy potential is calculated by using the principal component method. Interregional relationships based on this index are investigated with the help of the spatial autocorrelation method (Moran method).*

*We focus on the relationships between the regions of the Ural Federal District and identify priority areas of energy and economic development of these territories. In particular, we analyze the spatial development of energy and economy and identify the centers where energy resources are concentrated and their spheres.*

*Our findings can be used by state authorities and energy companies to design plans for the development of energy systems and regional economies within the framework of the Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the Period until 2025.*

**Keywords:** region, index estimation, energy potential, inter-regional relations, Moran's spatial autocorrelation, spatial development, principal component method

### Acknowledgements

*The study has been prepared with the support of Russian Foundation for Basic Research, the project No. 20-510-0002 (Bel\_a) "Toolkit for evaluation of the interaction between regions of Russia and Belarus in industrial and technological development and justification its priorities in the context of expanding integration processes and global challenges".*

### References

- Averina, L. M., & Sirotin, D. V. (2020). Otsenka prostranstvennykh effektov ot innovatsionnoy aktivnosti promyshlennno razvitykh regionov RF [Assessment of Spatial Effects from Innovation Activities in the Industrialized Russian Regions]. *Ekonomika regiona* [Economy of region], 16(1), 268–282. DOI: 10.17059/2020-1-20. (In Russ.)
- Gavrilets, Yu., Klimenko, K., & Kudrov, A. (2016). Statisticheskii analiz faktorov sotsial'noy napryazhennosti v Rossii [Statistical analysis of the social tension factors in RUSSIA]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economic and Mathematic methods], 1, 45–66. (In Russ.)
- Gavrilets, Yu. N., Nikitin, S. A., & Chernenkov, M. V. (2018). *Otsenka naseleniem kachestva zhizni i sotsial'naya stabil'nost' v regionakh Rossii* [Populations Assessment of the Life Quality and Social Stability in the Regions of Russia]. Moscow, Russia: Institut prikladnoy matematiki imeni V. G. Keldysha. (In Russ.)
- Gavrilets, Yu. N., Chernenkov, M. V., & Nikitin, S. A. (2019). Agregirovannye indeksy mneniy naseleniya o kachestve zhizni v regionakh Rossii [Aggregated Indices of Public Opinion on the Life Quality in Russian Regions]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economic and Mathematic methods], 1, 101–115. (In Russ.)
- Gal'perova, E. V. (2011). Energopotreblenie naseleniem i uroven' zhizni [Energy consumption by population and standards of living]. *Energeticheskaya politika* [Energy policy], 3, 34–41. (In Russ.)
- Demidova, O. A., & Ivanov, D. S. (2016). Modeli ekonomicheskogo rosta s neodnorodnymi prostranstvennymi effektami. Na primere rossiyskikh regionov [Models of Economic Growth with Heterogenous Spatial Effects: The Case of Russian Regions]. *Ekonomicheskii zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki* [The HSE Economic Journal], 20(1), 52–75. (In Russ.)
- Dubrovskaya, Yu. V. (2017). Instrumenty i instituty aktivizatsii mezhtsestvennogo vzaimodeystviya v otechestvennoy ekonomike [Instruments and institutions of inter-regional interaction activation in the Russian economy]. *Vestnik Omskogo universiteta* [Herald of Omsk university], 4 (60), 34–44. (In Russ.)

Tatarkin, I. (Eds.). (2013). *Ispol'zovanie klasterного podkhoda v modernizatsii ekonomicheskogo prostranstva Rossiyskoy Federatsii [Using the cluster approach in the modernization of the economic space of the Russian Federation]*. Ekaterinburg, Russia: Institut ekonomiki UrO RAN, 559. (In Russ.)

Kononov, Yu. D., Gal'perova E. V., & Kononov D. Yu. (2009). *Metody i modeli prognoznnykh issledovaniy vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki [Methods and models of forecasting studies of the relationship between energy and economics]*. Novosibirsk, Russia: Nauka, 178. (In Russ.)

Kurushina, E. V., & Petrov, M. B. (2018). Kriterii uspehnosti proektov prostranstvennogo razvitiya na osnove mezhregional'noy integratsii [Performance Criteria of Spatial Development Projects Based on Interregional Integration]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 14(1), 176–189. DOI: 10.17059/2018–1–14. (In Russ.)

Lavrikova, Yu. G., Akberdina, V. V., & Suvorova, A. V. (2019). Soglasovanie prioriteto nauchno-tekhnologicheskogo i prostranstvennogo razvitiya industrial'nykh regionov [Coordinating the Priorities of Scientific, Technological and Spatial Development of Industrial Regions]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 15(4), 1022–1035. DOI: 10.17059/2019–4–5. (In Russ.)

Naumov, I. V. (2019). Issledovanie mezhregional'nykh vzaimosvyazey v protsessakh formirovaniya investitsionnogo potentsiala territoriy metodami prostranstvennogo modelirovaniya [Investigation of the Interregional Relationships in the Processes of Shaping the Territories' Investment Potential Using the Methods of Spatial Modelling]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 15(3), 720–735. DOI: 10.17059/2019–3–8. (In Russ.)

Nekrasov, A. S., Sinyak, Yu. V., & Uzyakov, M. N. (2001). Elektroenergetika Rossii: ekonomika i reformirovanie [Power Industry of Russia: Economy and Reforms]. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, 5, 12–17. (In Russ.)

Voropay, N. I., Podkova'nikov, S. V., Trufanov, V. V. et al. (2015). *Obosnovanie razvitiya elektroenergeticheskikh sistem: Metodologiya, modeli, metody, ikh ispol'zovanie [Rationale for the development of electric power systems: Methodology, models, methods, their use]*. In Voropay N. I. (Eds.). Novosibirsk, Russia: Nauka, 448. (In Russ.)

Pavlov, Yu. N., & Koroleva, E. N. (2014). Prostranstvennye vzaimodeystviya: otsenka na osnove global'nogo i lokal'nogo indeksov Morana [Spatial Interactions: Evaluation with the Help of Global and Local Moran's Index]. *Prostranstvennaya ekonomika [Spatial economics]*, 3, 95–110. DOI: 10.14530/se.2014.3.95–110. (In Russ.)

Petrov, M. B., & Kozhov, K. B. (2019). Otsenka depressivnosti regional'nogo energeticheskogo kompleksa na osnove klasterного analiza [Assessment of depression of the regional energy complex on the basis of cluster analysis]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Herald of the Ural State University of Railway Transport]*, 3 (43), 89–101. (In Russ.)

Petrov, M. B. (Eds.) (2017). *Problemy infrastruktornogo obespecheniya prostranstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya makroregionov [Problems of infrastructural support of spatial socio-economic development of macroregions]*. Ekaterinburg, Russia: Institut ekonomiki UrO RAN, 233. (In Russ.)

Sheveleva, G. I. (2006). Investitsii i korporativnoe upravlenie v elektroenergetike [Investment and corporate governance in the power industry]. *EKO [ECO]*, 8, 99–108. (In Russ.)

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. Springer Texts in Statistics, 418.

Moran, P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37, 17–23.

### Authors

**Leonid Aleksandrovich Serkov** — PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory for Spatial Territorial Modeling, Senior Researcher of the Center for Development and Location of Productive Forces, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: dsge2012@mail.ru).

**Konstantin Borisovich Kozhov** — PhD in Engineering sciences, Senior Researcher of the Center for Development and Location of Productive Forces, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: jefytt11@mail.ru).