

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-3-15>

УДК. 332.12

И. В. Манаева  

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Российская Федерация

## АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКОНОМИКИ И КЛИМАТА В ГОРОДАХ РОССИИ<sup>1</sup>

**Аннотация.** Глобальные климатические изменения становятся важным фактором, определяющим динамику и спектр значимых параметров развития мировой экономики в целом и российской экономики в частности, что актуализирует необходимость разработки методических подходов и специальных моделей, позволяющих оценить взаимодействие климата и экономики для формирования научно обоснованных управленческих решений. Цель статьи – разработать и апробировать методику анализа координации связи климата и городского экономического развития в городах России. Информационной базой послужили данные Федеральной службы государственной статистики, расчет среднегодовых температур проводился по данным портала «Погода и климат». Объект исследования – города России с численностью населения более 100 тыс. чел. Период исследования – 2009–2019 гг. Представленный авторский методический подход позволяет расчетным путем получить коэффициент координации связи климата и экономики в городах России. Полученные значения коэффициента координации связи определяют наличие и степень взаимосвязи. Стабильно высокие значения коэффициента координации связи получены для Москвы и Санкт-Петербурга. Значения коэффициента координации связи варьируют от несоординированного до базового уровня. Оптимальная координация связи наблюдается в городах с высоким уровнем развития экономики. Высокие дифференциация и пространственная неоднородность коэффициента координации связи экономики и климата характерны для городов России, коэффициент Джини по данному показателю варьирует в диапазоне от 0,56 (УрФО в 2019 г.) до 0,88 (ЦФО в 2017, 2019 гг.). За период 2009–2019 гг. значимых изменений в динамике координации связи не выявлено, что демонстрирует стабильность городских систем России. Полученные автором количественные оценки могут стать предпосылкой для формирования раздела управления эколого-экономическим развитием в городских стратегиях и частью экологической политики регионов России.

**Ключевые слова:** город, экономика, климат, коэффициент координации связи, ВВП, объем отгруженной продукции, среднегодовая температура воздуха, коэффициент Джини, климатический пояс России, урбанизация, экология

### Благодарность

*Исследование поддержано грантом РФФИ, проект № 19-010-00523.*

**Для цитирования:** Манаева И. В. Анализ взаимосвязи экономики и климата в городах России. Экономика региона. 2022. Т. 18, вып. 3. С. 837-851. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-3-15>.

<sup>1</sup> © Манаева И. В. Текст. 2022.

## Analysis of the Climate – Economy Relationship in Russian Cities

**Abstract.** Global climate change is an important factor determining the dynamics and significant parameters of the development of the world economy in general and Russian economy in particular. Thus, specific methodological approaches and models should be developed to assess the climate – economy relationship in order to make science-based management decisions. The research aims to create and test a methodology for analysing the relationship between climate and urban economic development in Russian cities. Data of the Federal State Statistics Service was examined; the average annual temperature was calculated according to the information presented on the Weather and Climate portal. The study considers Russian cities with a population of over 100 thousand people in the period from 2009 to 2019. A communication coordination coefficient (CCC), determining the existence and extent of the relationship between climate and economy in Russian cities, can be obtained using the calculations presented in the author's methodology. Moscow and Saint Petersburg are characterised by stably high values of CCC. The coefficient values range from uncoordinated to base level. The best communication coordination is observed in economically developed cities. Generally, the climate – economy relationship in Russian cities is characterised by a high differentiation and spatial heterogeneity of the communication coordination coefficient, since the Gini coefficient for this indicator varies from 0.56 (Ural Federal District in 2019) to 0.88 (Central Federal District in 2017, 2019). The lack of significant changes in the dynamics of communication coordination in the period 2009-2019 indicates the stability of Russian urban systems. The obtained quantitative estimates may become a prerequisite for the creation of an environmental and economic development management section in urban strategies and part of the environmental policy of Russian regions.

**Keywords:** city, economy, climate, communication coordination coefficient, gross domestic product, shopping volume, average annual air temperature, Gini coefficient, climatic zone of Russia, urbanisation, ecology

### Acknowledgments

*The article has been prepared with the support of the Russian Foundation for Basic Research, the project No. 19-010-00523.*

**For citation:** Manaeva, I. V. (2022). Analysis of the Climate – Economy Relationship in Russian Cities. *Ekonomika regiona/Economy of regions*, 18(3), 837-851, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-3-15>.

### Введение

Глобальные климатические изменения становятся важными факторами, определяющими динамику и спектр значимых параметров развития мировой экономики в целом и российской экономики в частности. Россия является уникальной страной по составу климатических поясов и природно-географических характеристик регионов. Особенности климата оказывают значимое воздействие на качество жизни населения и производительность труда, определяя тенденции экономического развития городов и регионов. Исследования взаимосвязи экономики и окружающей среды имеют решающее значение для устойчивого развития от локального до глобального масштаба. Баланс данных систем является важной стратегической задачей. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается 1100 городов, в которых проживает 101 650 тыс. чел. Диапазон численности населения варьируется от 1 тыс. чел. (Чекалин) до 12 330,1 тыс. чел. (Москва), объема промышленного произ-

водства от 01, млн руб. (Назрань) до 7 618 403 млн руб. (Москва), среднегодовая температура воздуха — от –6,7 °С (Якутск) до 15,6 °С (Сочи)<sup>1</sup>. В современных условиях стремительно развивающихся климатических изменений необходима научно обоснованная адаптация, целью которой должно быть повышение сопротивляемости и устойчивости социально-экономического развития к негативным последствиям окружающей среды.

Нарастающее социально-экономическое городское неравенство и многообразие природной среды способствуют возникновению различных вариаций координации связи климата и экономики в пространстве и времени, исследование которой необходимо проводить с позиции регионального неравенства, пространственной агломерации и временных вариаций.

<sup>1</sup> Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium> (дата обращения 15.02.2021 г.).

Цель работы — разработать и апробировать методику анализа координации связи климата и городского экономического развития в городах России.

### Обзор литературы по теме исследования

Проблематика влияния климата на экономическое развитие является предметом активных исследований. Высокие темпы урбанизации не только способствовали экономическому росту, но и привели к масштабным проблемам окружающей среды (Turner et al., 2007; Brelsford et al., 2017). Зарубежные ученые изучают взаимосвязь климата и экономики с применением экологических индексов (Li et al., 2012; Almeida et al., 2017). Развитие данного направления в экономической науке и полученные результаты определяют необходимость расширения системы оценки устойчивости экономики и окружающей среды.

На сегодняшний день в зарубежной литературе существует большой пласт работ, посвященных исследованию городских тепловых зон «urban heat islands», *UHI*. Городская тепловая зона — это явление, когда температура в городских районах выше, чем в прилегающих сельских районах (Zhao et al., 2014; Manoli et al., 2019). Эмпирически подтверждено, что эффект *UHI* имеет негативные последствия: высокий уровень потребления энергии, снижение качества воздуха и воды, ухудшение здоровья (Estrada et al., 2017; Petz et al., 2005; Yardley et al., 2011). Л. Чжао с соавторами и Д. Пэн с соавторами, исследуя эффект *UHI* заключили, что ландшафтная урбанизация и увеличение плотности населения в городе являются доминирующими факторами в связывании экономического роста и изменение городского климата (Zhao et al., 2014; Peng et al., 2018). В Китае выявлена долгосрочная двунаправленная причинно-следственная связь экономического роста и ландшафтной урбанизацией на уровне города и провинции (Wu et al., 2014). Ученые сделали логичный вывод о пространственной неоднородности эффекта *UHI*, определив ряд причин: несинхронизированная ландшафтная урбанизация, диверсифицированный стиль управления городом, местный климат (Liu et al., 2019).

Особый интерес зарубежных исследователей вызывают проблемы температуры поверхности земли (*LST*). Проведена оценка дневных, ночных, сезонных и годовых трендов *LST* (Yang, 2017), влияния двумерной (2D) и трехмерной (3D) городской морфологии на *LST* (Huang, 2019; Berger, 2017), влияния архитек-

турных форм и пространств на *LST* (He, 2019; Cao, 2015), изменения *LST* вдоль градиентов между городом и деревней (Estoque, 2017), выявлены движущие факторы *LST*, влияние воздействия *UHI* на циркуляцию воздуха в городах (Zhou, 2016), моделирование городской тепловой среды с использованием модели исследования и прогнозирования погоды (*WRF*) и модели городского покрова (*UCM*) (He, 2019).

И. Чжи с соавторами изучали взаимосвязь пространственных характеристик и движущих факторов температуры поверхности земли (*LST*) с использованием модели географически взвешенной регрессии для городов Китая по результатам проведенных расчетов выявили отрицательную автокорреляцию *LST* и цифровой модели рельефа, индекса растительности и водного индекса, отрицательная автокорреляция обнаружена для таких социальных факторов, как число достопримечательностей и коэффициент застройки (Zhi, 2020).

Существует группа исследований, в которых взаимодействие экономики и экологии основано на оценке кривой Кузнецца, которая предполагает перевернутую U-образную связь между экономическим ростом и качеством окружающей среды. Таким образом, качество окружающей среды ухудшается по мере экономического развития, а затем постепенно улучшается после того, как экономика достигает определенного уровня. В рамках исследований экологической кривой Кузнецца (ЭКК) было показано, что «рост урбанизации может уменьшить уровень выбросов  $\text{CO}_2$  при высоком уровне ВВП на душу населения и большой доле отраслей сферы услуг в ВВП» (Chikaraishi, 2015). Зарубежные работы по проверки гипотезы ЭКК продемонстрировали неоднозначный результат, ученые заключили, что данная кривая не может применяться повсеместно (Liu, 2018). Результаты проверки экологической кривой Кузнецца на российских регионах показали, что взаимосвязь валового регионального продукта (ВРП) и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу описывается только для двадцати регионов. Определены факторы, снижающие экологическую нагрузку: модернизация производств, структурные изменения в экономике (Постников, 2014). При анализе ЭКК выявлена связь уровня доходов и устойчивого развития (Бобылев, 2007).

Широко применение для оценки координации экономики и окружающей среды получила модель степени координации (CCD). Методология разработана на основе теории

связи, которая описывает взаимодействие между различными системами (Chen, 2019). Фан подчеркивает важность межсистемной координации для обеспечения многомерной устойчивости по сравнению с традиционными подходами к анализу взаимосвязи (Fan, 2019). Модель степени координации (CCD) позволяет определить для каждого города ежегодную принадлежность координации, что является основой анализа пространственно-временных моделей координации с использованием географических методов (Liu, 2018; Chen, 2019).

Отдельно необходимо выделить блок работ, посвященных оценке экологической политики. В разработках ученых мало внимания уделено воздействию инвестиционной политики и природоохранной деятельности. В Швеции исследуется влияние изменений законодательства на эколого-экономические процессы, но работы в данном направлении с применением экономико-математического моделирования пока отсутствуют.

П.В. Дружинин с соавторами предложили подход, который позволил выделить группы факторов:

а) влияющие на окружающую среду отрицательно;

б) влияющие на окружающую среду положительно;

в) факторы, воздействие которых может быть как положительным, так и отрицательным.

Проведенные расчеты позволили определить наиболее важные показатели: инвестиции в модернизацию в РФ и рост вложений в машины и оборудование в странах ЕС. Экологическое законодательство в РФ трансформировалось слабо, а реализация решений, которые могли заметно повлиять на деятельность предприятий, отодвигалась на будущее (Дружинин, 2020).

### Материалы и методы

Цель исследования может быть достигнута на базе методологического аппарата, представленного Х. Лю с соавторами в 2020 г. (Liu et al., 2020). Ученые предложили методологию анализа изменения городского климата в межсистемных связях для оценки его координации с экономическим ростом с применением модели степени координации связи (CCD).

В данной статье будет проведена оценка координации городского климата и уровня экономического развития и рассчитан коэффициент координации связи (ККС) для городов России.

Этапы проведения исследования:

1. Формирование выборки: в исследование вошли города России численностью населения более 100 тыс. чел., так как слабо развитая муниципальная статистика РФ не позволяет включить в анализ средние и малые города.

Анализируемые показатели:

а) экономическое развитие — объем отгруженной продукции по видам деятельности «добыча полезных ископаемых», «обрабатывающее производство», «производство электроэнергии, газа и воды»;

б) климат — среднегодовая температура воздуха в городе.

Период исследования — 2009–2019 гг.

2. Нормализация показателей будет проводиться по аналогии с зарубежными исследованиями, в которых доказана гипотеза, что более высокий ВВП связан с более низким индексом городских тепловых зон, данная комбинация представляет оптимальную устойчивость. Следовательно, анализируемые показатели нормируются по-разному, чтобы гарантировать, что более высокий результат координации означает более устойчивое городское развитие.

Положительный индикатор — объем отгруженной продукции:

$$E = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}. \quad (1)$$

Отрицательный индикатор — среднегодовая температура воздуха в городе:

$$U = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}, \quad (2)$$

где  $E_{ij}$  — нормированное значение показателя «объем отгруженной продукции по видам деятельности „добыча полезных ископаемых“, „обрабатывающее производство“, „производство электроэнергии, газа и воды“» в городе  $j$  в году  $i$ ;  $U_{ij}$  — нормированное значение показателя «среднегодовая температура воздуха в городе» в городе  $j$  в году  $i$ ;  $X_{ij}$  — исходное значение показателя в городе  $j$  в году  $i$ ;  $\max\{X_j\}$  — максимальное за все годы значение анализируемого показателя в городе  $j$ ;  $\min\{X_j\}$  — минимальное за все годы значение анализируемого показателя в городе  $j$ .

$$C = \left\{ \frac{E \cdot U}{[E + U]} / 2 \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

$$T = \alpha E + \beta U, \quad (4)$$

$$KCC = (C \cdot T)^{1/2}, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{U}{E + U}, \quad (6)$$

Таблица 1

## Классификации координации связи экономики и климата в городах России

Table

## Communication coordination characterising the climate — economy relationship in Russian cities

Уровень ККС		Характеристика	
Нескоординированная	$0 < \text{ККС} \leq 0,001$	$0 \leq  U - E  \leq 0,1$	Нескоординированная
		$U - E > 0,1$	Нескоординированная, экономика не изменяется
		$E - U > 0,1$	Нескоординированная, городской климат не изменяется
Переходный период	$0,001 < \text{ККС} \leq 0,1$	$0 \leq  U - E  \leq 0,1$	Низкий уровень
		$U - E > 0,1$	Низкий уровень, экономика не изменяется
		$E - U > 0,1$	Низкий уровень, городской климат не изменяется
	$0,1 < \text{ККС} \leq 0,2$	$0 \leq  U - E  \leq 0,1$	Базовый уровень
		$U - E > 0,1$	Базовый уровень, экономика не изменяется
		$E - U > 0,1$	Базовый уровень, городской климат не изменяется
Координированная	$0,2 < \text{ККС} \leq 1$	$0 \leq  U - E  \leq 0,1$	Высокий уровень координации
		$U - E > 0,1$	Высокий уровень, экономика не изменяется
		$E - U > 0,1$	Высокий уровень, городской климат не изменяется

$$\beta = \frac{E}{E+U}, \quad (7)$$

где  $C$  — степень связи экономического развития и климата в городах; ККС — коэффициент координации / согласованности связи;  $T$  — отражает общее влияние уровней производительности двух систем на степени координации связи (ККС);  $\alpha$  и  $\beta$  описывают вклад экономического роста и изменения климата в городах соответственно.

3. Оценка координации связи экономического развития и климата в городах по критериям, представленным в таблице 1.

4. Анализ городского неравенства будет проведен путем расчета индекса Джини, который является классическим подходом при оценке неравенства.

$$G = \frac{1}{2n^2\mu} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |Y_j - Y_i|, \quad (8)$$

где  $G$  — коэффициент Джини;  $n$  — количество городов, участвующих в анализе;  $\mu$  — среднее значение анализируемого параметра;  $|Y_j - Y_i|$  — абсолютная разница между индивидами. Коэффициент Джини находится в диапазоне 0 до 1, где 0 означает полное равенство, а 1 — неравенство.

### Результаты авторского исследования и обсуждение

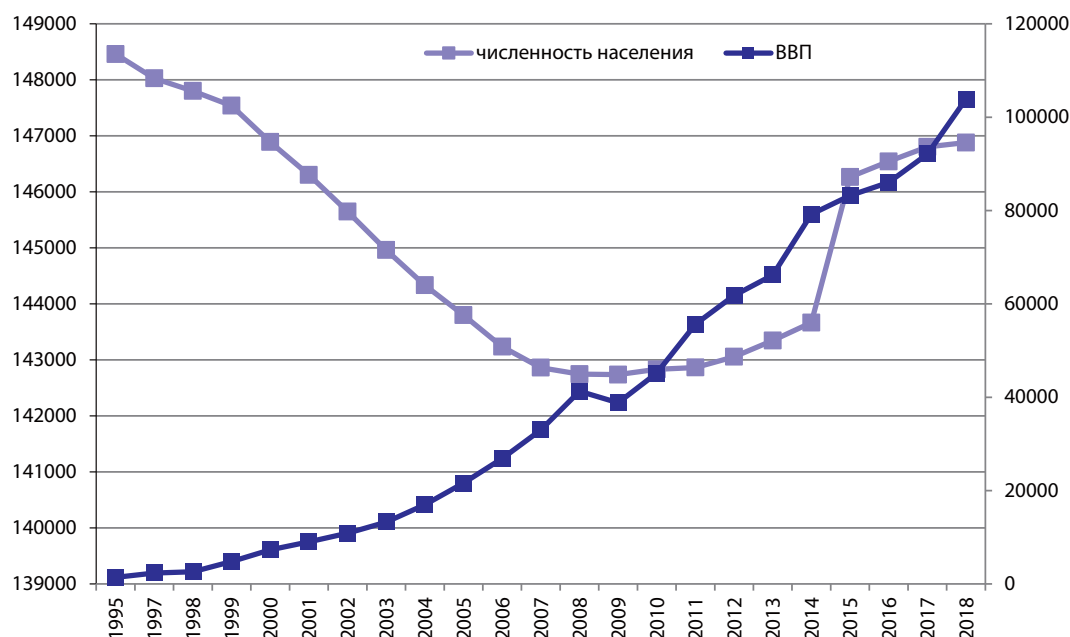
Для того, чтобы дать общее представление о развитии России, на рисунке 1 представлена динамика роста численности населения и ВВП в период 1995–2019 гг., выбранный в связи с началом экономических реформ и развитием рыночной экономики.

Данные рисунка 1 демонстрируют стремительный рост ВВП, снижение отмечено в 2009 г. в результате финансово-экономического кризиса. Численность населения РФ за анализируемый период снижается на 1148 тыс. чел., положительная динамика наметилась в 2010 г. — как результат реализации мероприятий по улучшению демографической ситуации. Значительное увеличение численности населения в России наблюдается в 2015 г., прирост по отношению к предыдущему году составил 2601 тыс. чел., отметим, что причиной данного прироста населения является присоединение к РФ Республики Крым и миграция с территории Украины в результате политических конфликтов.

На рисунках 2, 3 представлена динамика среднего значения показателей «объем отгруженной продукции» и «среднегодовая температура» в городе в границах федеральных округов в 2009–2019 гг., анализ которой позволяет выявить пространственно-временные закономерности на территории России.

Данные рисунка 2 демонстрируют высокую дифференциацию анализируемого показателя в федеральных округах России. Максимальные значения наблюдаются в Центральном и Северо-Западном федеральных округах. Стабильно низкие значения объема отгруженной продукции в городе без значительной динамики характерны для Северокавказского и Дальневосточного федеральных округов.

Данные рисунка 3 демонстрируют три уровня среднегодовых температур в территориальном пространстве России: высокий (Южный и Северокавказский федеральные округа), средний (Центральный, Северо-



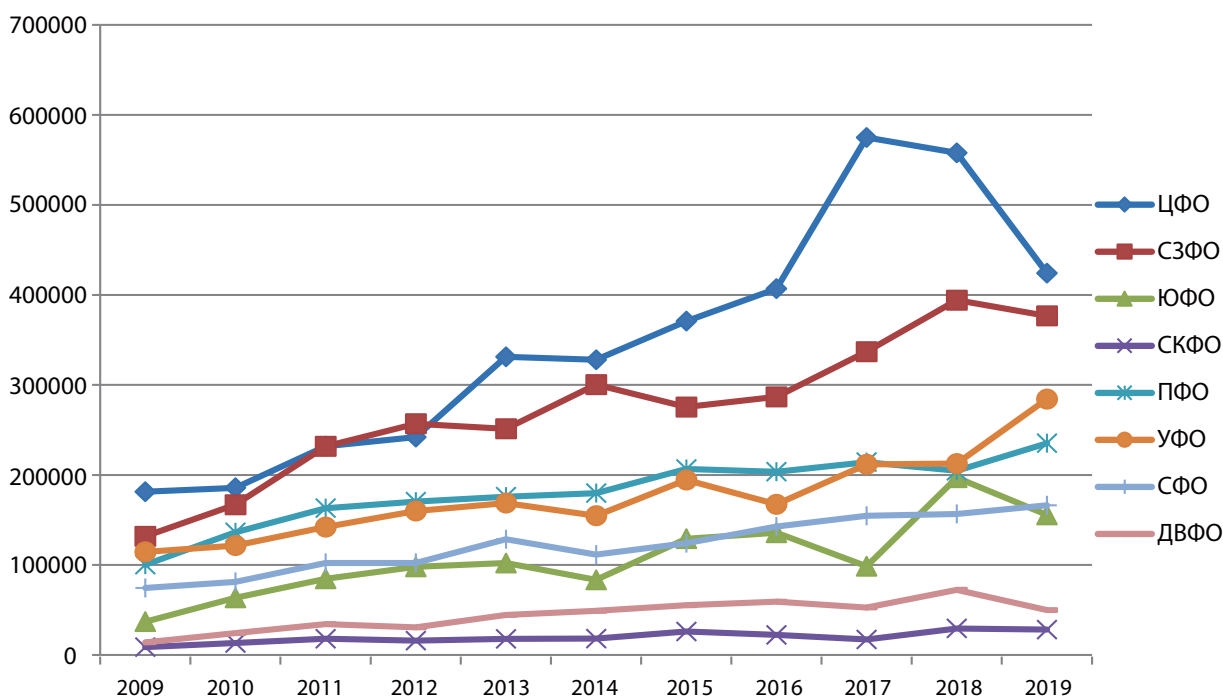
**Рис. 1.** Динамика ВВП и численности населения в России в 1995–2018 гг., тыс. чел., млрд руб. (источник: по данным: Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium> (дата обращения 15.02.2021))

**Fig. 1.** Dynamics of gross domestic product and population in Russia, 1995–2018, thousand people, billion roubles

Западный и Приволжский федеральные округа) и низкий уровень (Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа). Примечательно, что на всей территории РФ с 2011 г., исключением является Уральский федеральный округ, наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха.

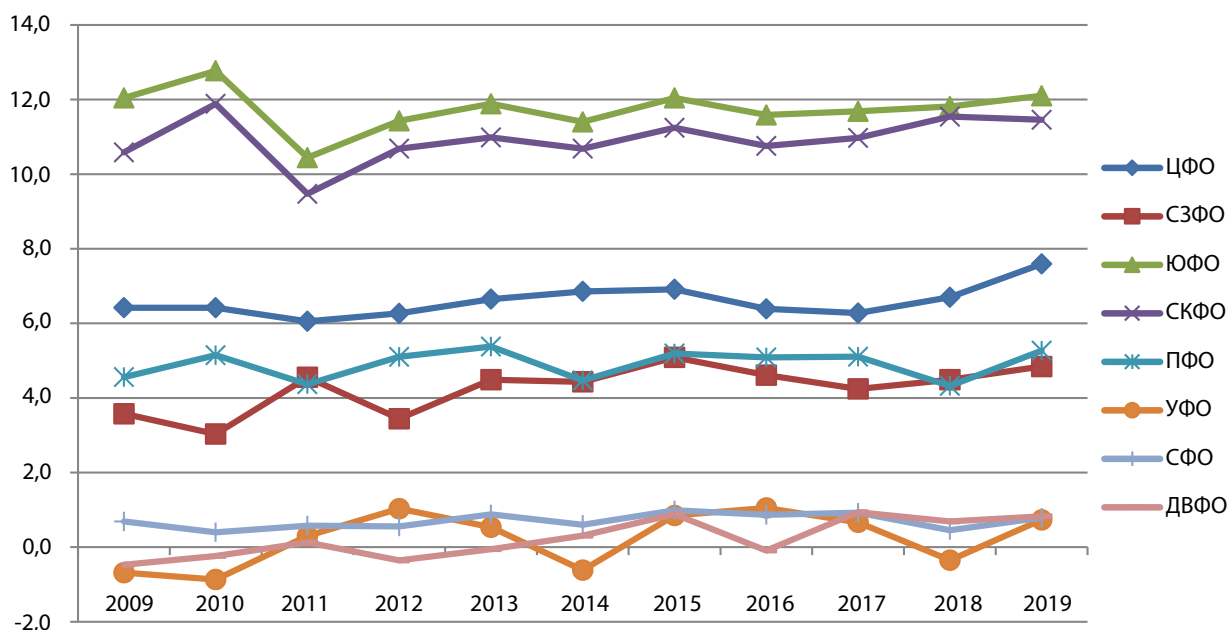
На рисунках 4–6 представлены результаты расчетов динамики координации связи экономики и климата в городах России в разрезе федеральных округов.

В целом за период 2009–2019 гг. отмечается неоднозначная динамика с отрицательной тенденцией. Полученные результаты рас-



**Рис. 2.** Динамика среднего значения показателя «объем отгруженной продукции» в городе в федеральных округах России 2009–2019 гг., млн руб. (источник: составлено по: Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium> (дата обращения 15.02.2021 г.))

**Fig. 2.** Dynamics of the average value of the "shipping volume" indicator in the city in the federal districts of Russia, 2009–2019, million roubles



**Рис. 3.** Динамика среднегодовой температуры воздуха в федеральных округах России 2009–2019 г., С° (источник: сост. по Температура воздуха и осадки по месяцам и годам: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 15.02.2021 г.)).

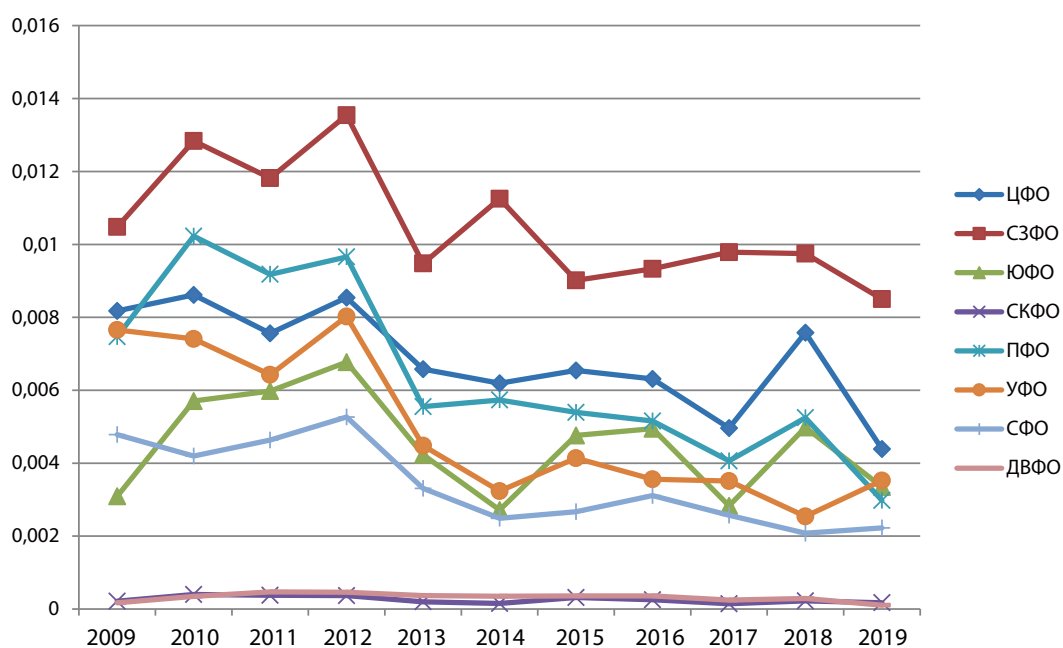
**Fig. 3.** Dynamics of the average annual air temperature in the federal districts of Russia, 2009–2019, С°

четов позволяют заключить, что в городах Северокавказского и Дальневосточного федеральных округов связь экономики и климата нескоординирована, динамики за анализируемый период не наблюдается. Города оставшихся федеральных округов находятся на стадии переходного периода координации связи.

Отметим, что рассчитывать средние значения У-Е либо Е-У для федерального округа

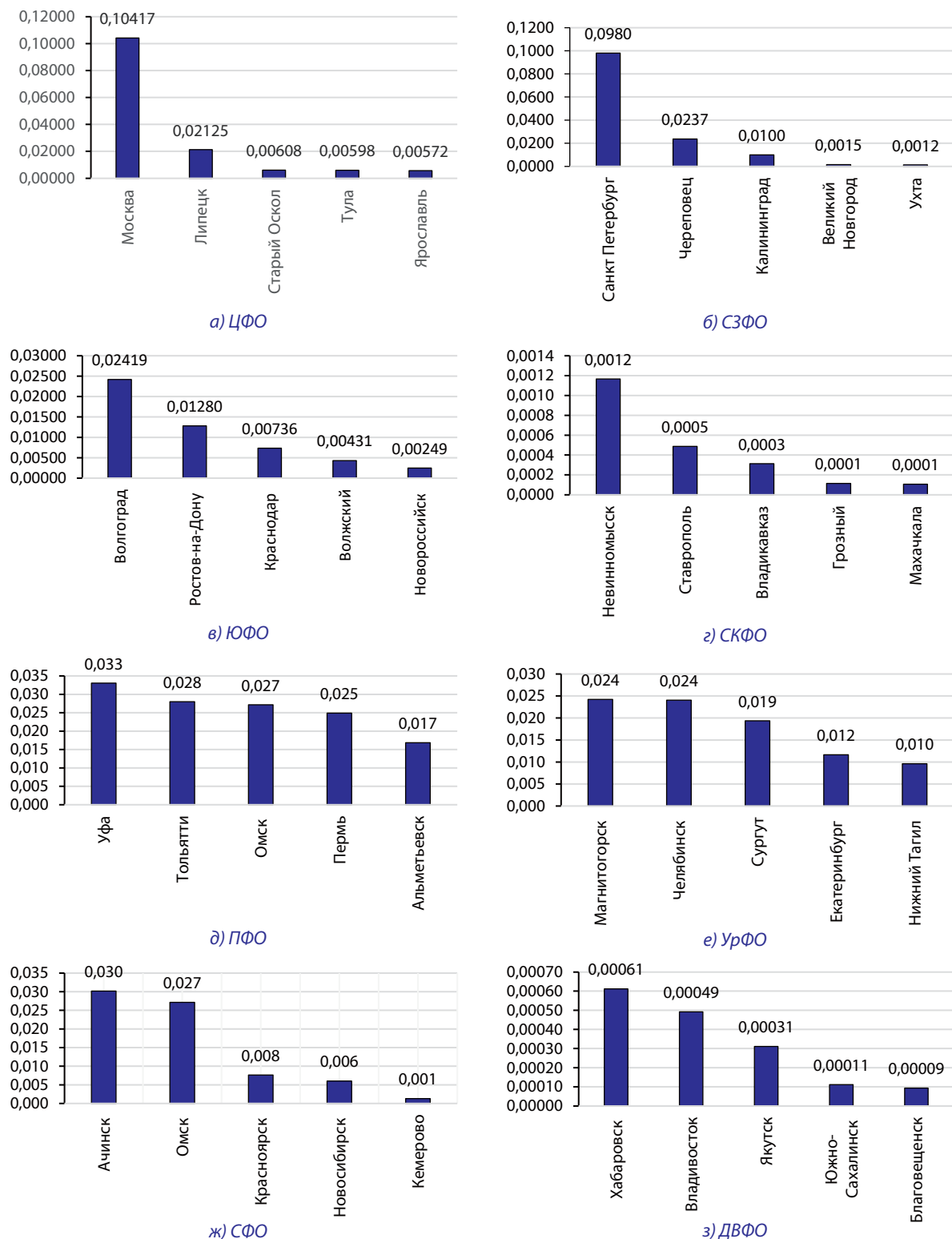
нецелесообразно, необходимо рассматривать данные значения конкретно для каждого города.

Представленные на рисунках 5, 6 данные позволяют заключить, что за десятилетний период в федеральных округах России большинство лидерских позиций сохранилось. Стабильно высокие значения ККС получены для Москвы и Санкт-Петербурга. Рисунки 5а,



**Рис. 4.** Динамика коэффициента координации связи в городах России в 2009–2019 гг. (источник: Рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 15.02.2021 г.) и портала «Погода и климат»: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 15.02.2021 г.))

**Fig. 4.** Dynamics of the communication coordination coefficient (average value for the federal district) and in Russian cities, 2009–2019



**Рис. 5.** Коэффициент координации связи в городах России в 2009 г. (источник: сост. по Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2010 // Федеральная служба Государственной статистики. URL: [https://gks.ru/bgd/regl/b10\\_14t/Main.htm](https://gks.ru/bgd/regl/b10_14t/Main.htm) (дата обращения 07.03.2021 г.))

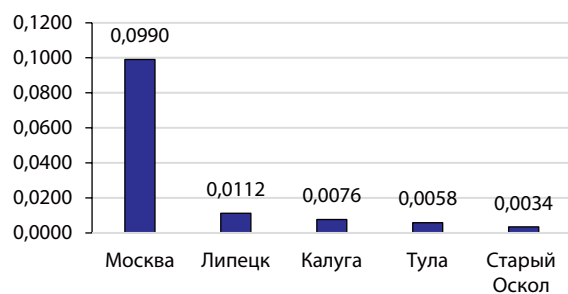
**Fig. 5.** Communication coordination coefficient in Russian cities, 2009

5б, 6а, 6б, 6г и 6ж демонстрируют отрыв городов-лидеров по анализируемому показателю.

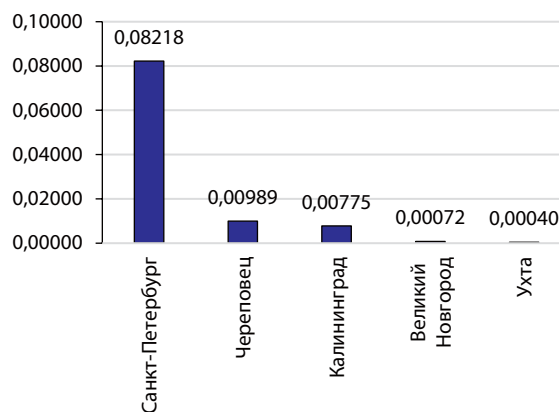
В Центральном федеральном округе в 2009 г. все представленные города находятся

на стадии переходного периода, значения ККС для Москвы позволяют сделать вывод о наличии базового уровня связи экономики и климата в данном городе. В 2019 г. наблюдается

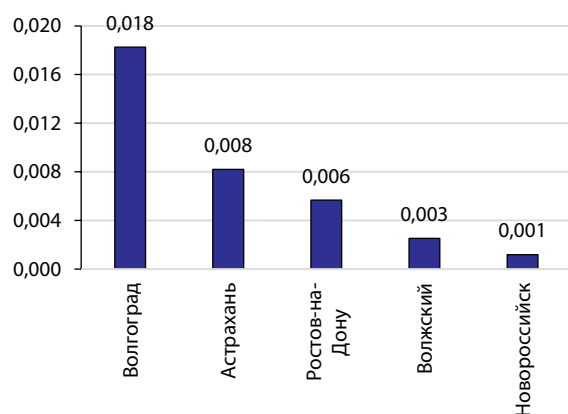




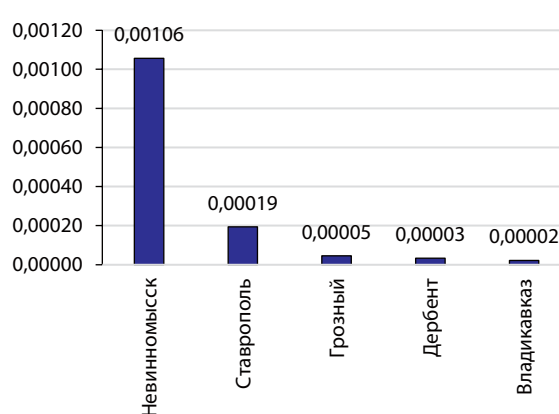
а) ЦФО



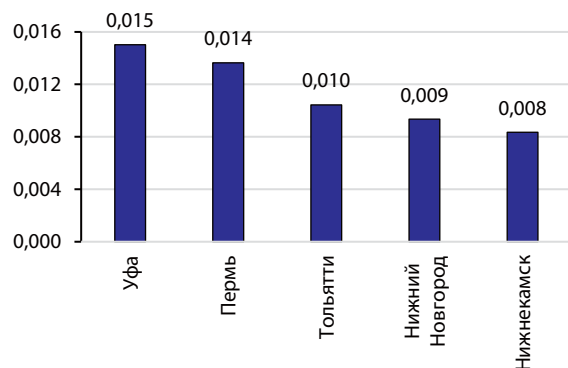
б) СЗФО



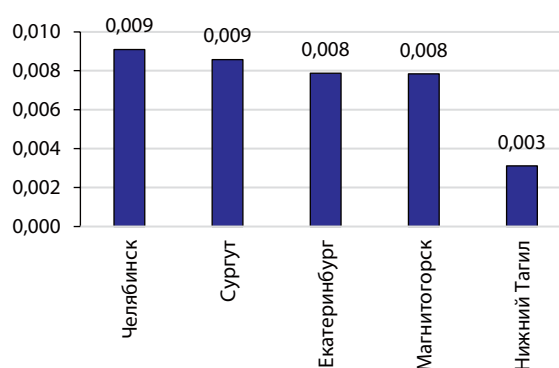
в) ЮФО



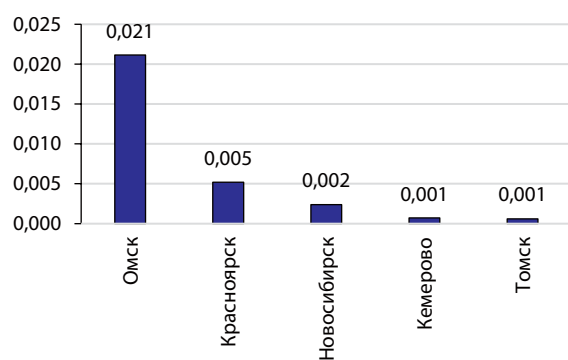
г) СКФО



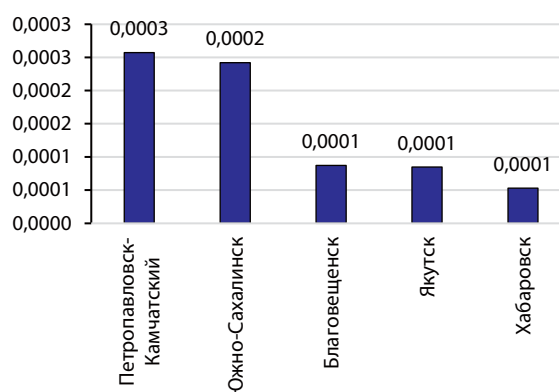
д) ПФО



е) УрФО



ж) СФО



з) ДВФО

**Рис. 6.** Коэффициент координации связи в городах России в 2019 г. (источник: сост. по: Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2020 // Федеральная служба Государственной статистики. URL: [https://gks.ru/bgd/regl/b20\\_14t/Main.htm](https://gks.ru/bgd/regl/b20_14t/Main.htm) (дата обращения 07.03.2021 г.))

**Fig. 6.** Communication coordination coefficient in Russian cities, 2019

снижение ККС Москвы, предположительно причиной данной динамики являются относительно быстрые темпы развития экономики при стабильном состоянии климата.

Представленные на рисунке 5б и 6б города Северо-Западного федерального округа демонстрируют принадлежность к переходному периоду с низким уровнем координации связи. Выявлен стабильный лидер — Санкт-Петербург, на территории которого темпы развития экономики, превышают темпы изменения климата.

В Южном федеральном округе лидером выступает город Волгоград, в темпах изменения экономики и климата наблюдается противоположная ситуация: темпы роста экономик ниже, в данном федеральном округе период развития координации связи — переходный, уровень связи — низкий.

В Северокавказском федеральном округе Невинномысск является лидером по индексу координации связи экономики и климата, оторван от остальной группы городов, при этом наблюдаются относительно низкие темпы изменения климата. Период развития координации связи — переходный, уровень связи — низкий.

На территории Приволжского федерального округа максимальный коэффициент координации связи получен для Уфы, низкие темпы изменения экономики в сравнении с темпами изменения климата сохраняются на протяжении всего анализируемого периода.

В Уральском федеральном округе выявлено два города-лидера по анализируемому показателю: в 2009 г. — Магнитогорск, в 2010–2019 гг. — Челябинск, в данных городах наблюдается тенденция доминирования в изменении климата относительно изменению экономики.

Максимальные значения коэффициента координации связи экономики и климата в границах Сибирского федерального округа наблюдаются в Омске, по результатам расчетов определено, что в данном городе изменение климата происходит быстрее изменений экономической сферы.

На территории Дальневосточного федерального округа за анализируемый период лидерами по координации связи выступают: в 2009–2010 г. Хабаровск, в 2011–2017 гг. Владивосток, в 2018 г. Комсомольск-на-Амуре, в 2019 г. Петропавловск-Камчатский. Во всех городах — лидерах данного федерального округа изменение климата доминирует над темпами изменения экономической сферы. Период раз-

вития координации связи — переходный, уровень связи — низкий.

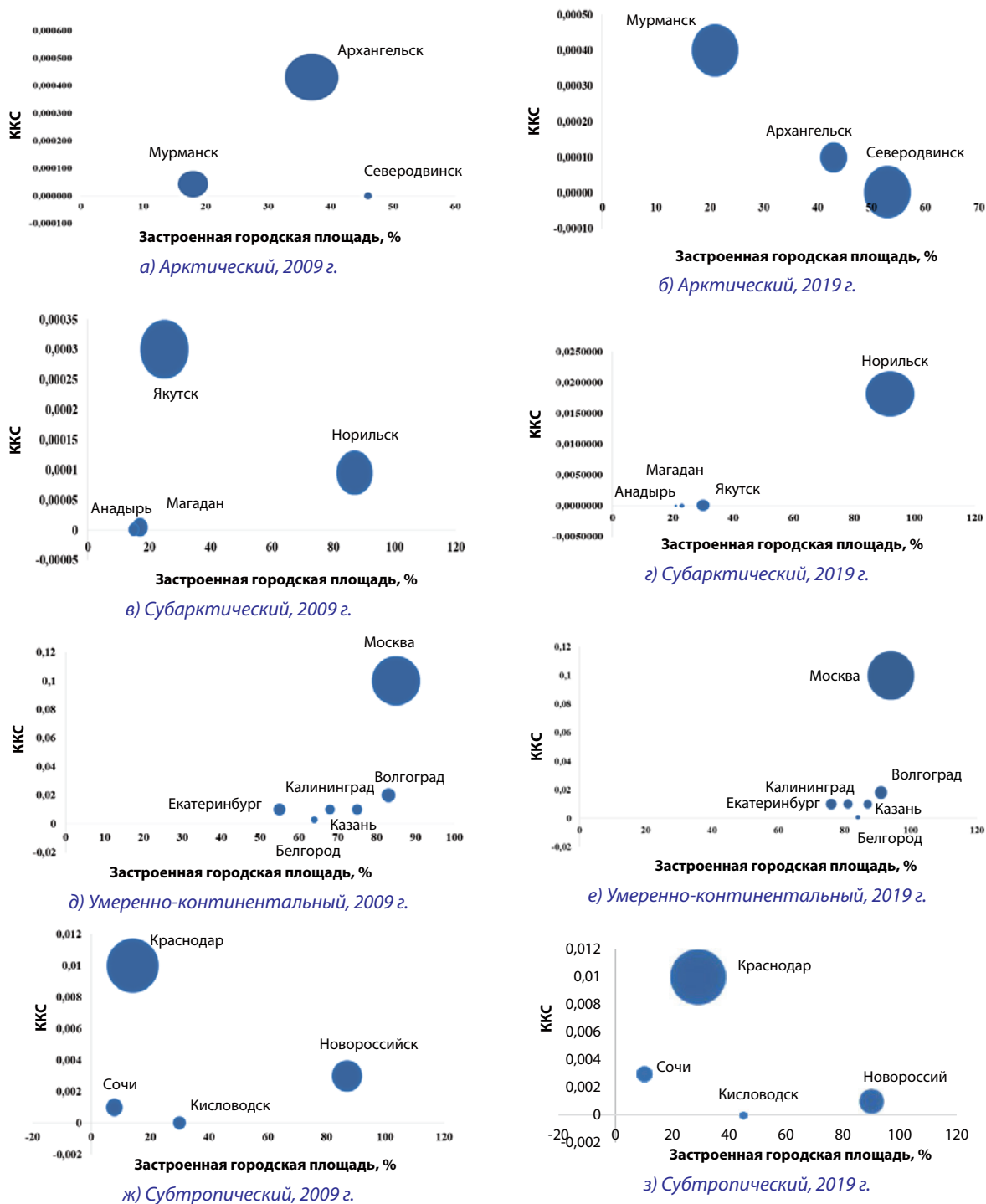
Результаты сравнительного анализа городов из разных климатических зон с высоким уровнем объема отгруженной продукции и доли урбанизированной территории в городе представлены на рисунке 7.

Для сравнительного анализа были отобраны города с высокими значениями объема отгруженной продукции различных климатических поясов. В группу арктического климата вошли три города Северо-Западного федерального округа. Результаты анализа демонстрируют, что Мурманск превзошел Архангельск и стал городом с наибольшей координированностью в 2015 г. Северодвинск за анализируемый период имеет самый низкий уровень координированности связи, примечательно, что в 2015 г. значительно увеличился объем отгруженной продукции. Отметим, что значимых изменений в динамике площади застроенных городских земель в обследуемых городах арктической зоны за период 2009–2019 гг. не произошло, что логично и закономерно.

В выборку городов субарктической зоны вошел один город Сибирского федерального округа и три Дальневосточного федерального округа. По данным рисунков 7в, 7г можно заключить, что уровень координированности связи значительно увеличился в Якутске и Норильске. Значительные положительные изменения объема промышленного производства наблюдаются в Норильске.

Наибольшим по площади, протяженности и заселенности является умеренно-континентальный пояс России. В выборку городов данного пояса были включены два города Центрального федерального округа, один Приволжского федерального округа, один Уральского федерального округа, один Северо-Западного федерального округа и один Южного федерального округа. Расчеты продемонстрировали логичный результат: неизменным лидером выступает Москва, данный город не только имеет высокие значения анализируемых показателей, но и оторван от остальных городов. Отметим, что в Белгороде произошло снижение координированности за анализируемый период. Считаем, что основная причина — это рост среднегодовой температуры воздуха, увеличение застроенной внутригородской площади и разрастание белгородской агломерации.

Данные рисунков 7ж, 7з демонстрируют, что существенной динамики в выборке городов субтропического пояса не наблюдается.



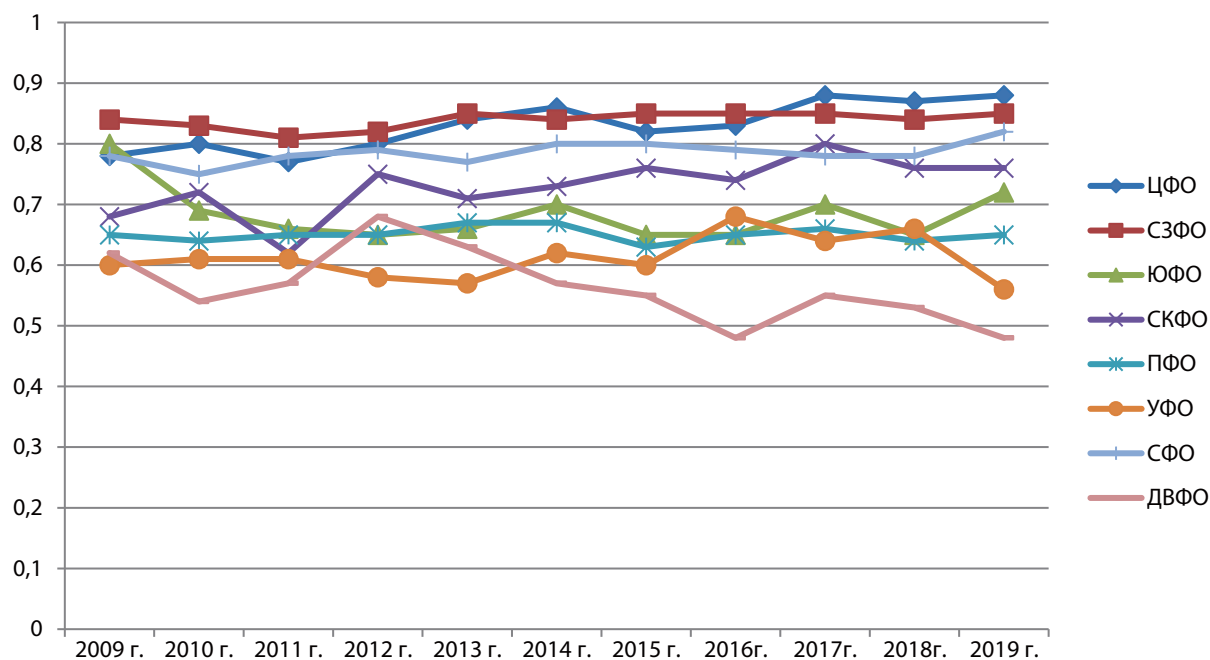
**Рис. 7.** Сравнительный анализ ККС городов различных климатических поясов России в 2009 г., 2019 г. (источник: рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 15.02.2021 г.) и портала «Погода и климат»: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 15.02.2021 г.))

**Fig. 7.** Comparative analysis of CCC of cities in different climatic zones of Russia in 2009, 2019

Ввиду широкой дифференциации социально-экономического развития на территории России и многообразия климатических поясов целесообразно провести анализ неравенства коэффициента координированности связи экономики и климата в городах России в разрезе

федеральных округов путем расчета индекса Джини (рис. 8).

Данные рисунка 8 демонстрируют наличие высокой дифференциации по анализируемому показателю, данный результат подчеркивает пространственную неоднород-



**Рис. 8.** Динамика коэффициента Джини в городах России по показателю ККС в 2009–2019 гг. (источник: Рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 15.02.2021 г.) и портала «Погода и климат»: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 15.02.2021 г.))

**Fig. 8.** Dynamics of the Gini coefficient in Russian cities for CCC, 2009–2019

ность городов России, коэффициент Джини варьирует в диапазоне от 0,56 (УФО в 2019 г.) до 0,88 (ЦФО в 2017 г., 2019 г.), за анализируемый период значимой динамики не наблюдается. Максимальные значения анализируемого показателя получены для Центрального, Северо-Западного и Сибирского федеральных округов. Рост дифференциации выявлен в городах Северокавказского федерального округа. Снижение дифференциации произошло в Южном, Уральском и Дальневосточном федеральных округах. Значительное неравенство ККС указывает на то, что правительству необходимо учитывать региональный дисбаланс при разработке национальной политики.

### Заключение

Представленное исследование дополняет цикл работ в области устойчивого развития путем инновационного учета изменения городского климата, в частности среднегодовой температуры воздуха в рамках межсистемной оценки устойчивости.

Основные выводы можно резюмировать следующим образом.

Выявленная координация связи экономического развития и климата в городах России демонстрирует различные пространственные конфигурации. Отметим, что за период 2009–2019 гг. значимых изменений в динамике координации связи не обнаружено, что демонстрирует стабильность городских систем России.

Показатель «объем отгруженной продукции» демонстрирует различные тенденции роста во всех городах. Логично и закономерно, что наибольшие темпы экономического роста характерны для Москвы и Санкт-Петербурга где сконцентрированы финансовые, инновационные и человеческие ресурсы, а также городов-нефтеяников: Тюмень, Нижневартовск, Ханты-Мансийск, Нефтеюганск, Сургут.

Коэффициент координации связи экономического развития и климата в городах России демонстрирует, по аналогии с показателями «объем отгруженной продукции» и «среднегодовая температура воздуха», пространственную неоднородность в разрезе федеральных округов и климатических поясов России.

Значения ККС варьируют от несоординированного до базового уровня. Оптимальная координация связи наблюдается в городах с высоким уровнем развития экономики.

Разработанный и апробированный методический подход координации экономического развития и климата в городах России позволит исследовать пространственно-временные модели координации, изучать эффективность политики в отношении снижения воздействия окружающей среды в условиях быстрого экономического роста.

Результаты оценки взаимодействия городской экономики и климата могут стать предпосылкой для формирования раздела управления эколого-экономическим развитием в го-

родских стратегиях и важной частью экологической политики регионов России.

Представленный метод оценки взаимосвязи климата и экономики в городах России имеет потенциал дальнейшего развития. Дополнение методики глобальным и локальным индексом Морана позволит определить наличие и сте-

пень взаимосвязей ККС с соседними территориями и определить наличие кластеров по данному показателю. Исследование автокорреляции коэффициента координации связи экономики и климата в динамике и выявление пространственно-временных сдвигов станут темами отдельных будущих исследований.

### Список литературы

- Бобылев С. Н. (2007). Взаимосвязь между уровнем благосостояния и устойчивым развитием. В: *Кривая Кузнецца. Социально-экономический потенциал устойчивого развития* (ред. Л. Хенс и Л. Мельник). Сумы: Университетская книга, с. 134–159.
- Дружинин П. В., Шкиперова Г. Т., Поташева О. В., Зимин Д. А. (2020). Оценка влияния развития экономики на загрязнение воздушной среды. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*, 13 (2), 125–142. DOI: 10.15838/esc.2020.2.68.8.
- Постников В. П. (2014). Анализ загрязнения атмосферного воздуха: национальный и региональный аспекты. *Вестник Волгоградского государственного университета. 3. Экономика. Экология*, 1, 117–124.
- Almeida T. A. D. N., Cruz L., Barata, E., García-Sánchez I.-M. (2017). Economic growth and environmental impacts: an analysis based on a composite index of environmental damage. *Ecological Indicators*, 76, 119–130. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.12.028.
- Berger C., Rosentreter J., Voltersen M., Baumgart C., Schullius C., Hese S. (2017). Spatio-temporal analysis of the relationship between 2D/3D urban site characteristics and land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 193, 225–243.
- Brelford C., Lobo J., Hand J., Bettencourt L. M. A. (2017). Heterogeneity and scale of sustainable development in cities. *Proc Natl Acad Sci USA*, 114, 8963–8968. DOI: 10.1073/pnas.1606033114.
- Cao M., Rosado P., Lin Z., Levinson R., Millstein D. (2015). Cool roofs in Guangzhou, China: outdoor air temperature reductions during heat waves and typical summer conditions. *Environmental Science & Technology*, 49 (24), 14672–14679.
- Chen D., Lu X., Liu X., Wang X. (2019). Measurement of the eco-environmental effects of urban sprawl: theoretical mechanism and spatiotemporal differentiation. *Ecological Indicators*, 105, 6–15. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.059.
- Chikaraishi M, Fujiwara A., Shinji Kaneko S., Poumanyvong P., Komatsu S., Kalugin A. (2015). The moderating effects of urbanization on carbon dioxide emissions: A latent class modeling approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 302–317.
- Estoque R. C., Murayama Y., Myint S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359.
- Estrada F., Botzen W. J. W., Tol R. S. J. (2017) A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7, 403–406. DOI: 10.1038/nclimate3301.
- Fan Y., Fang C., Zhang Q. (2019). Coupling coordinated development between social economy and ecological environment in Chinese provincial capital cities—assessment and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 229, 289–298. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.027.
- He B. (2019) Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101–116. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101647.
- He X., Li Y., Wang X. (2019) High-resolution dataset of urban canopy parameters for Beijing and its application to the integrated WRF/Urban modelling system. *Journal of Cleaner Production*, 208, 373–383.
- Huang X., Wang Y. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: a case study of Wuhan, central China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 119–131.
- Li Y., Zhou Y., Shi Y., Zhu, X. (2012). Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. *Journal of Environmental Management*, 98, 127–133. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.12.025.
- Liu H., Huang B. Chen Yang C. (2020) Assessing the coordination between economic growth and urban climate change in China from 2000 to 2015. *Science of the Total Environment*, 732, 139–283. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139283.
- Liu N., Liu C., Xia Y., Da B. (2018). Examining the coordination between urbanization and eco-environment using coupling and spatial analyses: a case study in China. *Ecological Indicators*, 93, 1163–1175 DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.06.013.
- Liu H., Zhan Q., Yang C., Wang J. (2019). The multi-timescale temporal patterns and dynamics of land surface temperature using ensemble empirical mode decomposition. *Science of the Total Environment*, 652, 243–255. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.252.
- Manoli G., Fatichi S., Schläpfer M., Yu K., Crowther T.W., Meili N., Burlando P., Katul G.G., Bou-Zeid E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573, 55–60. DOI: 10.1038/s41586-019-1512-9.

Patz J. A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley, Jonathan. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310–317. DOI: 10.1038/nature04188.

Peng J., Jia J., Liu Y., Li H., Wu J. (2018) Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 215, 255–267. DOI: 10.1016/j.rse.2018.06.010.

Turner B. L., Lambin E. F., Reenberg A. (2007) The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105, 20666–20671. DOI: 10.1073/pnas.0704119104.

Wu J., Xiang W., Zhao J. (2014). Urban ecology in China: historical developments and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 222–233. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.02.010.

Yang J., Sun J., Ge Q., Li X. (2017). Assessing the impacts of urbanization-associated green space on urban land surface temperature: a case study of Dalian, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 1–10.

Yardley J., Sigal R. J., Kenny G. P. (2011). Heat health planning: the importance of social and community factors. *Global Environmental Change*, 10 (21), 670–679. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.11.010.

Zhao L., Lee X., Smith R.B., Oleson K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511, 216–219. DOI: 10.1038/nature13462.

Zhi Y., Shan L., Ke L., Yang R. (2020). Analysis of Land Surface Temperature Driving Factors and Spatial Heterogeneity Research Based on Geographically Weighted Regression Model. *Complexity*, 2020, 1–10. DOI: 10.1155/2020/2862917.

Zhou D., Zhao S., Zhang L., Liu S. (2016). Remotely sensed assessment of urbanization effects on vegetation phenology in China's 32 major cities. *Remote Sensing of Environment*, 176, 272–281.

## References

Almeida, T. A. D. N., Cruz, L., Barata, E. & García-Sánchez, I.-M. (2017). Economic growth and environmental impacts: an analysis based on a composite index of environmental damage. *Ecological Indicators*, 76, 119–130. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.12.028.

Berger, C., Rosentreter, J., Voltersen, M., Baumgart, C., Schullius, C. & Hese, S. (2017). Spatio-temporal analysis of the relationship between 2D/3D urban site characteristics and land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 193, 225–243.

Bobylev, S. N. (2007). Relationship between the level of welfare and sustainable development. Kuznets curve. In: L. Hens, L. Melnik (Eds.), *Sotsialno-ekonomicheskii potentsial ustoychivogo razvitiya [Socio-economic potential of sustainable development]* (pp. 134–159). Sumy: University book. (In Russ.)

Brelsford, C., Lobo, J., Hand, J. & Bettencourt, L. M. A. (2017). Heterogeneity and scale of sustainable development in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 8963–8968. DOI: 10.1073/pnas.1606033114.

Cao, M., Rosado, P., Lin, Z., Levinson, R. & Millstein, D. (2015). Cool roofs in Guangzhou, China: outdoor air temperature reductions during heat waves and typical summer conditions. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 14672–14679.

Chen, D., Lu, X., Liu, X. & Wang, X. (2019). Measurement of the eco-environmental effects of urban sprawl: theoretical mechanism and spatiotemporal differentiation. *Ecological Indicators*, 105, 6–15. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.059.

Chikaraishi, M., Fujiwara, A., Kaneko, S., Poumanyong, P., Komatsu, S. & Kalugin A. (2015). The moderating effects of urbanization on carbon dioxide emissions: A latent class modeling approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 302–317.

Druzhinin, P. V., Shkiperova, G. T., Potasheva, O. V. & Zimin, D. A. (2020). The assessment of the impact of the economy's development on air pollution. *Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz [Economic and social changes: facts, trends, forecast]*, 13(2), 125–142. DOI: 10.15838/esc.2020.2.68.8. (In Russ.)

Estoque, R. C., Murayama, Y. & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359.

Estrada, F., Botzen, W. J. W. & Tol, R. S. J. (2017) A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7, 403–406. DOI: 10.1038/nclimate3301.

Fan, Y., Fang, C. & Zhang, Q. (2019). Coupling coordinated development between social economy and ecological environment in Chinese provincial capital cities—assessment and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 229, 289–298. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.027.

He, B. (2019). Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101–116. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101647.

He, X., Li, Y. & Wang X. (2019). High-resolution dataset of urban canopy parameters for Beijing and its application to the integrated WRF/Urban modelling system. *Journal of Cleaner Production*, 208, 373–383.

Huang, X. & Wang, Y. (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: a case study of Wuhan, central China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 119–131.

Li, Y., Li, Y., Zhou, Y., Shi, Y. & Zhu, X. (2012). Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. *Journal of Environmental Management*, 98, 127–133. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.12.025.

Liu, H., Huang, B. & Chen Yang, C. (2020) Assessing the coordination between economic growth and urban climate change in China from 2000 to 2015. *Science of the Total Environment*, 732, 139283. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139283.

Liu, H., Zhan, Q., Yang, C. & Wang, J. (2019). The multi-timescale temporal patterns and dynamics of land surface temperature using ensemble empirical mode decomposition. *Science of the Total Environment*, 652, 243–255. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.252.

Liu, N., Liu, C., Xia, Y. & Da, B. (2018). Examining the coordination between urbanization and eco-environment using coupling and spatial analyses: a case study in China. *Ecological Indicators*, 93, 1163–1175. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.06.013.

Manoli, G., Faticchi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., ... Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573, 55–60. DOI: 10.1038/s41586-019-1512-9.

Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T. & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310–317. DOI: 10.1038/nature04188.

Peng, J., Jia, J., Liu, Y., Li, H. & Wu, J. (2018). Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 215, 255–267. DOI: 10.1016/j.rse.2018.06.010.

Postnikov, V. P. (2014). The analysis of atmospheric air pollution: national and regional aspects. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. 3. Ekonomika. Ekologiya*, 1, 117–124. (In Russ.)

Turner, B. L., Lambin, E. F. & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 20666–20671. DOI: 10.1073/pnas.0704119104.

Wu, J., Xiang, W. & Zhao, J. (2014). Urban ecology in China: historical developments and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 222–233. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.02.010.

Yang, J., Sun, J., Ge, Q. & Li, X. (2017). Assessing the impacts of urbanization-associated green space on urban land surface temperature: a case study of Dalian, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 1–10.

Yardley, J., Sigal, R. J. & Kenny, G. P. (2011). Heat health planning: the importance of social and community factors. *Global Environmental Change*, 21(2), 670–679. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.11.010.

Zhao, L., Lee, X., Smith R. B. & Oleson K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511, 216–219. DOI: 10.1038/nature13462.

Zhi, Y., Shan, L., Ke, L. & Yang, R. (2020). Analysis of Land Surface Temperature Driving Factors and Spatial Heterogeneity Research Based on Geographically Weighted Regression Model. *Complexity*, 2020, 1–10. DOI: 10.1155/2020/2862917.

Zhou, D., Zhao, S., Zhang, L. & Liu, S. (2016). Remotely sensed assessment of urbanization effects on vegetation phenology in China's 32 major cities. *Remote Sensing of Environment*, 176, 272–281.

### Информация об авторе

**Манаева Инна Владимировна** — доктор экономических наук, профессор кафедры мировой экономика, Белгородский государственный национальный исследовательский университет; Scopus Author ID: 57191902461; <https://orcid.org/0000-0002-4517-7032> (Российская Федерация, 308015 г. Белгород, ул. Победы 85, e-mail: in.manaeva@yandex.ru).

### About the author

**Inna V. Manaeva** — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of World Economy, Belgorod State National Research University; Scopus Author ID: 57191902461; <https://orcid.org/0000-0002-4517-7032> (85, Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: in.manaeva@yandex.ru).

Дата поступления рукописи: 30.03.2021.

Прошла рецензирование: 12.05.2021.

Принято решение о публикации: 27.05.2022.

Received: 30 Mar 2021.

Reviewed: 12 May 2021.

Accepted: 27 May 2022.