

## Типологическое понятие компактности систем расселения<sup>1</sup>

В статье рассмотрено понятие компактности систем расселения на основе топологических инвариантов «разбивающая точка», «индекс точки». Показано принципиальное различие компактности городов и систем расселения, определенное разницей их пространственного построения. Приведена авторская методика определения компактности систем расселения на примере Свердловской области.

**Ключевые слова:** системы расселения, компактность систем расселения, топологические инварианты, картограммы индексов точек.

MAZAEV G. V.

TOPOLOGICAL CONCEPT OF COMPACTNESS OF SETTLEMENT SYSTEMS

*The article considers the concept of compactness of settlement systems based on topological invariants «breaking point», «point index». The fundamental difference between the compactness of cities and settlement systems, determined by the difference in their spatial structure, is shown. The author's method of determining the compactness of settlement systems on the example of the Sverdlovsk region is given.*

*Keywords: settlement systems, compactness of settlement systems, topological invariants, cartograms of point indices.*



**Мазаев  
Григорий  
Васильевич**

кандидат архитектуры, профессор, академик РААСН, главный научный сотрудник, филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» УралНИИпроект, Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: uro-raasn@mail.ru

В современную градостроительную типологию прочно вошло понятие «компактный город». Этому типу городов посвящены работы как отечественных ученых Р. М. Вальшина и А. А. Хорунжева [2], Н. А. Иванькиной [5], Ю. В. Катаевой и И. Л. Лобановой [6], Н. А. Орловой [9], Д. П. Фролова и И. А. Соловьевой [10], так и зарубежных исследователей Д. Джекобс [4], Д. Данцига и Т. Саати [3]. В их трудах рассматриваются различные аспекты «компактного города». Но он является только одним из элементов систем расселения. Однако вопрос компактности систем расселения в целом даже не ставится, хотя он постепенно становится одним из важнейших в теории их организации, что определяется практическими задачами развития Национальной системы расселения.

В современных условиях градостроительного развития России периодически возникают предложения о переводе Национальной системы расселения в некое «компактное состояние», которое понимается как отказ от развития всей системы расселения с переходом к развитию ограниченного числа крупных компактных агломераций. Они представляются как центры развития территорий, «мегагломерационная» часть системы расселения предоставляется са-

мовыживанию. Градостроители не раз резко критиковали эту позицию, ранее озвученную Э. Набиулиной, но в 2021 г. она была высказана вновь. Для понимания подобного варианта развития страны следует ответить на вопрос: что такое компактность систем расселения и являются ли таковыми агломерации системы расселения России.

Понятие «компактность систем расселения» отличается от его понимания применительно к градостроительным структурам городского типа, что определено различием этих объектов [8]. Городские градостроительные структуры имеют ограниченные территориальные размеры и замкнуты в своих границах. Поэтому они вполне отвечают топологическим требованиям к искусственным градостроительным пространствам, определяющим возможность планировочных структур, обладающих свойством компактности — ограниченностью и замкнутостью. Системы расселения принципиально отличаются от них: они являются объектами, территориально распределенными в естественном градостроительном пространстве, состоящими из отдельных градостроительных элементов, связанных между собой транспортными коридорами. Эти связи имеют различные планировочные формы, которые определяют состояние развития систем расселения. Естественное пространство «разрывает» систему расселения, она становится нецелостной. В топологическом понимании система расселения содержит большое количество пространственных «дыр», общая площадь которых значительно превышает пло-

<sup>1</sup> Работа выполнена по плану ФНИ РААСН и Минстроя России на 2021 год в соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» и Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).

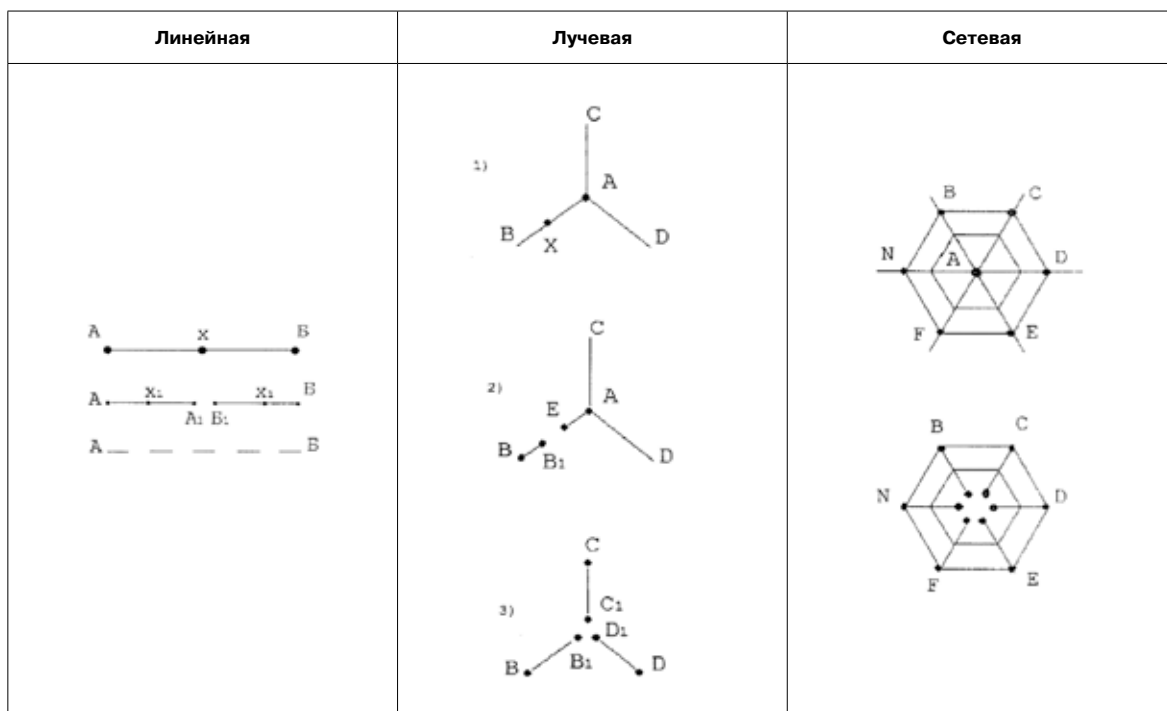


Иллюстрация 1. Инвариант «разбивающая точка» для различной планировочной организации градостроительных структур.  
Рисунок Г. В. Мазаева

щадь застроенных элементов. С точки зрения компактности городских градостроительных структур, такая система, по определению, некомпактна. Использовать для оценки ее компактности топологические инварианты, которыми характеризовались планы городов, нельзя, необходимы иные подходы на основе других топологических инвариантов. В. Г. Болтянский и В. А. Ефремович приводят такие топологические инварианты: «разбивающая точка» и «индекс точки».

#### Топологический инвариант «разбивающая точка» и его применение в исследовании систем расселения

Разбивающая точка — «такая точка, после удаления сколь угодно малой окрестности этой точки, будет получена несвязная фигура, то есть, содержащая более одной компоненты». Такое определение этого топологического инварианта дают В. Г. Болтянский и В. А. Ефремович [1, 11]. Ее наличие у фигуры, которую образует форма плана, говорит о ее негомеоморфности сплошной компактной фигуре, то есть — она некомпактна. Число разбивающих точек для некоторой фигуры есть ее топологический инвариант. Инвариант «разбивающая точка» позволяет оценить гомеоморфность как самой большой структуры — системы расселения страны, так и отдельных ее частей: региональных систем расселения и агломераций.

В системах расселения инвариант «разбивающая точка» имеет разное значение, что определяется типом их планировочной организации (Иллюстрация 1). Простейшая схема — линейная. Она практически вся состоит из разбивающих точек: удалив любую точку линейной структуры, получим несвязную фигуру. Это говорит о том, что линейные структуры некомпактны. Лучевые (звездчатые) системы более сложно организованы. Они также могут включать неограниченное количество разбивающих точек. Находящиеся на одном луче точки разбивают его как линейную схему, но вся система сохраняется. Только удаление центральной точки ведет к ее разрушению и превращению в многокомпонентную, некомпактную. Такая система более устойчива и компактна. Сетевые системы самые компактные и устойчивые: даже удаление центральной точки не нарушает ее целостность, она остается однокомпонентной.

Наиболее ярко проявление топологического инварианта «разбивающая точка» в линейных системах расселения. Наличие разбивающей точки делает невозможным целостное развитие линейной системы расселения. О. К. Кудрявцев пишет: «Доказаны преимущества компактных структур над линейными. Недостатками линейных форм являются: быстрое нарастание длины связей, нагрузка на сеть, отсутствие манев-

ра, малая надежность. Все это ведет к распаду линейных форм на отдельные функциональные участки. В отношении реальных структур надо сказать, что их крайние точки обычно закреплены, и речь идет только о способах заполнения промежутков» [7, 94]. Теоретически, все эти недостатки являются проявлением разбивающей точки. В реальной системе расселения вопрос заключается только в месте ее размещения. Чем крупнее «концевой» — по терминологии О. К. Кудрявцева — планировочный элемент, тем сильнее его влияние на «межобъектное» разделяющее пространство и тем дальше от него расположена разбивающая точка. Топологически распад линейной структуры объясняется и неоднородностью естественного градостроительного пространства. При большой величине разрыва между концевыми элементами линейной структуры в нем обязательно будут содержаться «дырки» и рассечения природными объектами, которые не позволяют обеспечить ее целостность. На практике они чаще всего и играют роль вполне реальной разбивающей точки. В этом случае линейная планировочная система превращается, образно говоря, в «разреженные бусы», в которых планировочные элементы, образующие центры системы, «навязаны» на линейную транспортную связь. Планировочная система перестает быть линейной и превращается

в дисперсную. Этот процесс показывает, что отдельные элементы линейной планировочной системы имеют различную компактность, а вся линейная система не может быть равномерной на всем своем протяжении.

Такой процесс наблюдается в Национальной системе расселения России восточнее Урала и особенно отчетливо происходит в ДФО и в Приморье. Существующая система расселения хотя и считается линейной, но, фактически, распадается на узловое элементы, ядрами которых служат города-областные центры. Все линейные варианты развития Национальной системы расселения не повышают ее компактности [11, 12]. Это возможно только при сетевом развитии, для чего требуется постепенное продвижение этого типа планировок в восточном направлении и создание развитых агломераций в качестве узлов такой сети.

#### Топологический инвариант «индекс точки»

Отдельные территориальные центры развиваются по радикально-лучевой схеме с небольшим количеством радиальных направлений развития, в основном два-три. Оценку такого развития можно дать с помощью топологического инварианта «индекс точки» [1, 13]. Индекс точки в фигуре — это число сходящихся в ней дуг (отрезков). Число индекса точки — это различные топологические инварианты, которые могут использоваться для оценки гомеоморфности фигур, образованных системами расселения (Иллюстрация 2).

На Иллюстрации 2 индексы точек составляют следующие значения: для (•)  $a = 1$ , (•)  $b = 3$ , (•)  $c = 4$ , (•)  $d = 2$ . Топологический инвариант «индекс точки» позволяет оценить гомеоморфность фигур, образованных «рисунком» систем расселения: гомеоморфные фигуры должны иметь равное количество точек с одинаковыми значениями индекса точки. Другое важное качество этого инварианта — он позволяет преобразовать графические схемы системы расселения в математические «числовые поля», удобные для анализа. Простота определяется тем, что «индекс точки» соответствует количеству лучевых элементов в планировочной системе.

#### Пороги оценки компактности систем расселения

Топологический инвариант «индекс точки» позволяет установить пороги количественной оценки степени

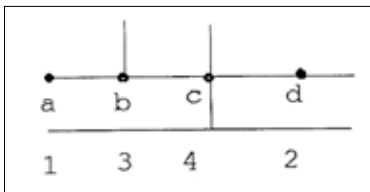


Иллюстрация 2. Топологический инвариант «индекс точек». По [1]

развития системы расселения и соответствующие им степени компактности. Оценка имеет сравнительное значение, но, будучи преобразованной в картограмму, позволит выделить территории, на которых расположены наиболее компактные элементы систем расселения. Такую картограмму определим термином «поле индексов точек системы расселения» или, более кратко, — «поле индексов».

Индексы точек соответствуют типам построения систем расселения, являясь их числовым выражением. Типы построения усложняются по мере развития планировочной системы, проходя стадии от простейших дисперсных и линейных, среднего развития в виде многолучевых (звездчатых), тем более развитых, чем больше лучей содержат, до наиболее развитых сетевых систем различного рисунка. Соответственно меняются индексы узловых точек планировочных систем: по мере их усложнения возрастают значения индексов точек. Эта закономерность позволяет ввести пороговые значения для оценки степени компактности территории, занятой «полем индексов точек». Соответствие числовых индексов точек и типов планировочной организации систем расселения приведено в таблице (Иллюстрация 3).

Дисперсная система расселения (очаговая) будет характеризоваться индексами точек (ИТ) = 0. Элемент планировки системы расселения с индексом точки (ИТ) = 1 будет соответствовать «тупиковой» ветви, не имеющей дальнейшего развития. Индексы точек (ИТ) = 2 будут соответствовать простейшим линейным системам. Эти типы систем не сформированы, они не замкнуты, т. е. не соответствуют свойствам искусственного градостроительного пространства, в котором может осуществляться свойство компактности. Поле индексов точек со значениями от (ИТ) = 0 до (ИТ) = 2 будет соответствовать территории, занимаемой некомпактной системой расселения на начальной стадии формирования.

Очень интересен индекс точки со значением (ИТ) = 3. Этот переходный тип планировки может характе-

ризовать как лучевые, так и сетевые системы с шестиугольной формой ячеек, относящиеся к наиболее развитому типу, характерному для староосвоенных градостроительных регионов Европы.

Территория с такими индексами точек должна дополнительно рассматриваться по планировочной организации. При лучевой планировке отдельных элементов системы расселения территория будет иметь среднюю величину компактности. При сетевой шестиугольной организации — будет занята высококомпактной системой расселения. При лучевой планировке индексы точек (ИТ) = 3 будут единичны и не связаны между собой, при сетевой планировке они образуют регулярную структуру. Поле индексов точек со значениями (ИТ) = 4 и выше будет соответствовать территории, занятой системой расселения повышенной компактности. Индекс точки (ИТ) = 4 соответствует системе регулярной прямоугольной планировки. Такие системы составляют 80% от их общего числа.

Изложенное доказывает теорему компактности систем расселения: **компактность систем расселения тем выше, чем выше значение индексов точек на территории поля индексов.**

#### Топологический анализ компактности системы расселения Свердловской области

На основании принятых допущений, в качестве примера топологического анализа региональной системы расселения, приведен авторский анализ системы расселения Свердловской области, развитой в градостроительном отношении (Иллюстрация 4). Она включает 46 городов и три агломерации: Екатеринбургскую, Нижнетагильскую и Краснотурьинскую. Анализ ее компактности проведен в три этапа.

На первом этапе установлен тип планировочных элементов в соответствии с их классификацией. В качестве учитываемых элементов взяты населенные пункты, являющиеся центрами муниципальных образований области. Их структура показана на картографии (Иллюстрация 5). Всего в планировочной системе выявлено 53 таких элемента, в том числе: однолучевых — 16 (30%), двухлучевых — 25 (47%), трехлучевых — 9 (17%), четырехлучевых — 2 (4%), шестилучевых — 1 (2%).

На втором этапе каждому элементу присвоен индекс точки. В ре-

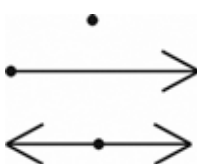
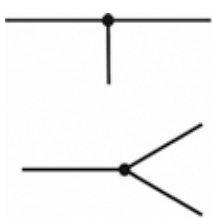
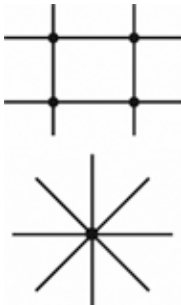
| Тип планировочной организации системы расселения     | Планировочные формы                                                                 | ИТ                         | Компактность                 |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Линейные системы                                     |    | ИТ = 0<br>ИТ = 1<br>ИТ = 2 | Некомпактные                 |
| Лучевые разной сложности и отдельные сетевые системы |    | ИТ = 3<br><br>ИТ = 3       | Компактные                   |
| Переходный тип от лучевых к сетевым системам         |    | ИТ = 3                     | Компактные                   |
| Сетевые и сложные системы                            |  | ИТ = 4<br><br>ИТ = 8       | Высокой степени компактности |

Иллюстрация 3. Соответствие значения индексов точек типу сложности планировочных систем. Рисунок Г.В. Мазаева

зультате картограмма распределения планировочных элементов системы расселения преобразована в картограмму поля «индексов точек» (Иллюстрация 6). Так как индекс точки отражает структуру планировочных элементов, то количество точек с индексами соответствует числу планировочных элементов по их типам: количество точек с индексом (ИТ) = 1–16 (30%), (ИТ) = 2–25 (47%), (ИТ) = 3–9 (17%), (ИТ) = 4–2 (4%), (ИТ) = 6–1 (2%). Среднее значение индекса точки для всей системы расселения составляет только (ИТ)  $\bar{c} = 1,9$ , что говорит о низкой компактности системы расселения. Большое число точек с (ИТ) = 1 говорит о множестве «тупиковых» элементов, которые могут быть «отсечены» разбивающей точкой от всей системы и образовать однокомпонентный элемент. Основное количество

точек имеют (ИТ) = 2, что означает преобладание в системе расселения линейных структур, составляющих половину ее градостроительных элементов.

На третьем этапе проведено зонирование «поля индексов точек», которое показало пространственное распределение точек по значению их индексов (Иллюстрация 7). Основная территория занята линейными системами с (ИТ) = 2 с низкой степенью компактности. В южной части выделяется несколько территорий с повышенной компактностью. Они создают трехлучевую структуру вокруг Екатеринбурга, образующего ядро агломерации. Оно имеет средний индекс точки (ИТ)  $\bar{c} = 4,5$ , что говорит о его высокой компактности. К нему примыкают две зоны: юго-восточная и западная со средними значениями (ИТ)  $\bar{c} = 3$ . Екатерин-

бургская агломерация раздроблена по планировочной структуре, она многокомпонентна. Это не позволяет говорить о ней как о компактной градостроительной структуре.

Второй по степени компактности юго-западный элемент: (ИТ)  $\bar{c} = 3,3$ . Он имеет выгодное расположение, связан с ядром агломерации, с восточным направлением трансконтинентального коридора и имеет выход на юго-западные территории УрФО. Третий по степени компактности — западный элемент: (ИТ)  $\bar{c} = 3$ .

На севере располагается зона повышенной компактности с (ИТ) = 2,25 — Краснотурьинская агломерация. Отдельные зоны с компактностью (ИТ)  $\bar{c} = 3$  располагаются в центре системы расселения — Нижний Тагил, и на западе области — Красноуфимск. Вместе с тем существуют зоны с пониженной компактностью — «провалы» в системе расселения: их три в южной части системы расселения и обширная зона на севере.

Пример топологического анализа системы расселения Свердловской области показывает, что развитый в градостроительном отношении регион, занимающий второе место после Московской области по числу городов, имеет очень низкую степень ее компактности. Система расселения рассредоточена по территории области крайне неравномерно — половина территории вообще не содержит сколько-нибудь значимых элементов расселения. Основная часть системы расселения находится на стадии развития простых линейных структур. Исследование системы расселения Свердловской области показало почти полное отсутствие в ней замкнутых «кольцевых» систем. Такие элементы характеризуются (ИТ) = 4, что определяется пересечением линейных связей, создающих замкнутые структуры. Только в районе Екатеринбурга существуют отдельные территории в начальной стадии развития лучевых структур. Но они разрозненны и даже на территориях Екатеринбургской агломерации не образуют целостной системы. Это говорит о необходимости развития системы ее расселения не только по принципу «элемент агломерации — ядро агломерации», но и развития межэлементных связей. Сегодня элементы системы агломерации не связаны между собой, а только с ядром агломерации, которое сосредотачивает рабочие места, востребованные населением городов агломерации. Агломерация продолжит оставаться низкокомпактной, возрастать ком-



Иллюстрация 4. Система расселения Свердловской области



Иллюстрация 5. Преобразование системы расселения Свердловской области в картограмму типов планировочных элементов. Рисунок Г. В. Мазаева



Иллюстрация 6. Преобразование системы расселения Свердловской области в картограмму поля индексов точек. Рисунок Г. В. Мазаева



Иллюстрация 7. Преобразование системы расселения Свердловской области в картограмму зонирования поля индексов точек. Рисунок Г. В. Мазаева

пактность будет только в центральном городе. Такое развитие приведет к «опустыниванию» не только территорий области, но и всей агломерации, за исключением ее ближнего пояса.

## Заключение

Системы расселения обладают собственными критериями компактности, отличными от критериев компактности локальных планировочных систем. В топологическом понимании система расселения размещается в сильно раздробленном пространстве с большим числом «дырок» и рассечений. Оценка их компактности проводится на основе топологических инвариантов «разбивающая точка» и «индекс точки».

Появление в системах расселения разбивающих точек говорит о снижении их компактности. Инвариант «индекс точки» позволяет установить пороги количественной оценки степени развития систем расселения и установить наличие в них зон с повышенной компактностью на основе построения «поля индексов».

## Список использованной литературы

- Болтынский В. Г., Ефремович В. А. Очерк основных идей топологии // Математическое просвещение. — М.: Гос. изд. технико-теорет. лит., 1975. — Вып. 2. — С. 1–34.
- Вальшин Р. М., Хорунжев А. А. К проблеме плотности современного города // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: сб. ст. / под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, Е. А. Ахмедовой. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2019. — С. 176–182.
- Данциг Дж., Саати Т. Компактный город: проект организации городской среды: пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1977. — 199 с.
- Джекобс Дж. Смерть и жизнь больших американских городов: пер. с англ. — М.: Новое изд-во, 2011. — 460 с.
- Иванькина Н. А., Перькова М. В. Концепция нового урбанизма: предпосылки развития и основные положения // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. — 2018. — № 8. — С. 75–84. — DOI 10.12737 / article\_5b6d585f08a625.50385604.
- Катаева Ю. В., Лобанова И. Л. Территориальная организация крупного города как фактор его развития (на примере г. Перми) // Проблемы современной экономики (Новосибирск). — 2013. — № 13. — С. 76–82.
- Кудрявцев О. К. Расселение и планировочная структура крупных городов — агломераций. — М.: Стройиздат, 1985. — 136 с.
- Мазаев Г. В. Топологическое понятие компактности градостроительных структур // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2021. — № 3. — С. 11–17.
- Орлова Н. А., Орлов Д. Н., Маслова Е. А. Проблема компактного города провинциальной России XXI века // Градостроительство и архитектура. — 2019. — Т. 9. — № 1. — С. 101–108.
- Фролов Д. П., Соловьева И. А. Современные модели городского развития: от противопоставления — к комбинированию // Пространственная экономика. — 2016. — № 3. — С. 151–171.
- Система расселения Сибстрим. — URL: <https://ru.https://www.pandia.ru/text/78/194/95471.php> (дата обращения: 25.09.2021).
- Система линейного расселения России. — URL: <https://megalektsii.ru/s64177t3.html> (дата обращения: 25.09.2021).

## References

- Boltyanskij V. G., Efremovich V. A. Oчерk osnovnyh idej topologii // Matematicheskoe prosveshchenie. — M.: Gos. izd. tekhniko-teoret. lit., 1975. — Vyp. 2. — S. 1–34.
- Val'shin R. M., Horunzhev A. A. K probleme plotnosti sovremennogo goroda // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i gradostroitel'stvo: sb. st. / pod red. M. V. Shuvalova, A. A. Pishchuleva, E. A. Ahmedovoi. — Samara: Samar. gos. tekhn. un-t, 2019. — S. 176–182.
- Dancig Dzh., Saati T. Kompaktnyj gorod: proekt organizacii gorodskoj sredy: per. s angl. — M.: Strojizdat, 1977. — 199 s.
- Dzhekobs Dzh. Smert' i zhizn' bol'shih amerikanskikh gorodov: per. s angl. — M.: Novoe izd-vo, 2011. — 460 s.
- Ivan'kina N. A., Per'kova M. V. Konceptiya novogo urbanizma: predposylki razvitiya i osnovnye polozheniya // Vestn. Belgorod. gos. tekhnol. un-ta im. V. G. Shuhova. — 2018. — № 8. — S. 75–84. — DOI 10.12737 / article\_5b6d585f08a625.50385604.
- Kataeva Yu. V., Lobanova I. L. Territorial'naya organizaciya krupnogo goroda kak faktor ego razvitiya (na primere g. Permi) // Problemy sovremennoj ekonomiki (Novosibirsk). — 2013. — № 13. — S. 76–82.
- Kudryavcev O. K. Rasselenie i planirovochnaya struktura krupnyh gorodov — aglomeracij. — M.: Strojizdat, 1985. — 136 s.
- Mazaev G. V. Topologicheskoe ponyatie kompaktnosti gradostroitel'nyh struktur // Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN. — 2021. — № 3. — S. 11–17.
- Orlova N. A., Orlov D. N., Maslova E. A. Problema kompaktnogo goroda provincial'noj Rossii XXI veka // Gradostroitel'stvo i arhitektura. — 2019. — T. 9. — № 1. — S. 101–108.
- Frolov D. P., Solov'eva I. A. Sovremennye modeli gorodskogo razvitiya: ot protivopostavleniya — k kombinirovaniyu // Prostranstvennaya ekonomika. — 2016. — № 3. — S. 151–171.
- Sistema rasseleniya Sibstrim. — URL: <https://ru.https://www.pandia.ru/text/78/194/95471.php> (data obrashcheniya: 25.09.2021).
- Sistema linejnogo rasseleniya Rossii. — URL: <https://megalektsii.ru/s64177t3.html> (data obrashcheniya: 25.09.2021).

Статья поступила в редакцию 13 октября 2021 г.

Опубликована в декабре 2021 г.

## Gregory Mazaev

Candidate of Architecture, Full Professor, Academician of RAACS, Chief researcher, Branch FSBI «TsNIIP Minstroy Russia» UralNIIProekt, Yekaterinburg, Russian Federation e-mail: [uro-raasn@mail.ru](mailto:uro-raasn@mail.ru)

ORCID: 0000-0003-3353-7552