

УДК 911.372

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2022-4-51-58>

## ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ ГОРОДОВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ<sup>1</sup>

**П.С. Лебедев**

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

Исследование проведено в рамках концепции социально-географического пространства города и направлено на оценку городского пространства и возможных пространственных связей населения в нем. В статье описывается опыт применения нейронных сетей для сегментации космических снимков и выделения на них контуров различных типов городской застройки. Типы застройки позволяют дифференцировать город, в том числе получить обобщенное представление о функциональном зонировании и городских ядрах тяготения населения: центрах обслуживания, проживания и приложения труда. Информация о функциональном назначении и центрах позволяет составить представление о социально-пространственных связях населения. Кроме того, метод позволяет компенсировать нехватку открытых пространственных данных по малым городам. Главным недостатком метода являются высокие требования к вычислительной мощности и необходимость сбора и разметки исходных данных.

***Ключевые слова:** социально-географическое пространство города, малые города, Тверская область, городское пространство, свёрточная нейронная сеть, космоснимки.*

### **Введение и постановка проблемы**

Первое «начало» территориальной организации общества – это принцип взаимодополнения мест [5]. Основан он на том, что на Земле существуют территориальные различия. Ни одно место не способно удовлетворить все потребности человека. Поэтому возникает необходимость обмена. Места начинают дополнять друг друга, между ними возникают пространственные связи – перемещения людей, ресурсов, финансов, информации.

О взаимодополнении мест чаще всего говорят при изучении системы расселения, где «местами» являются населённые пункты разного размера и функционального наполнения. Наиболее известна в этой сфере теория центральных мест В. Кристаллера.

© Лебедев П.С., 2022

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых кандидатов наук № МК-5512.2021.1.5

Вопрос активно изучается и в современной отечественной географии. Отметим работы А.А. Ткаченко [4], И.П. Смирнова [3] и А.А. Фомкиной [7]. В упомянутых работах взаимосвязи рассматриваются на малом масштабе, где населённые пункты представлены небольшими точками, едиными в своих свойствах.

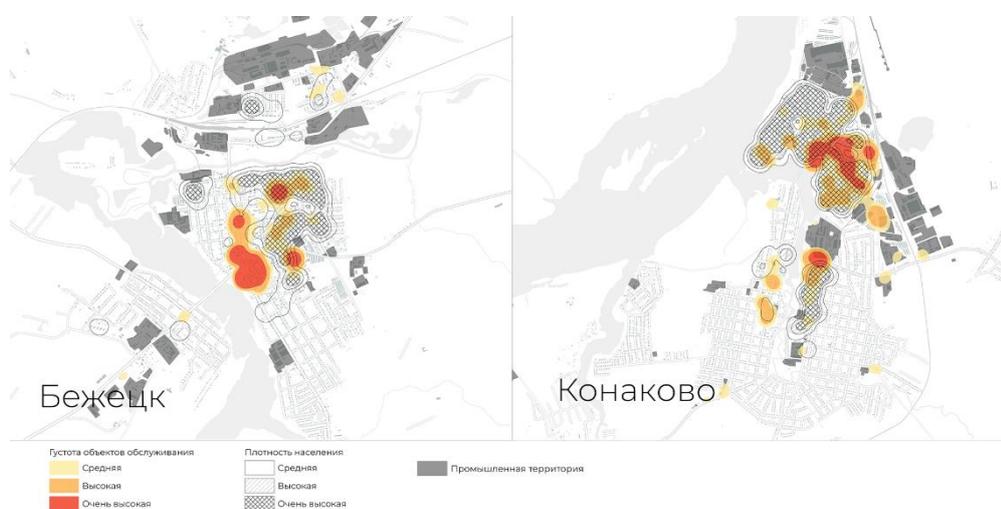
Изучением связей внутри «точек» занимаются преимущественно урбанисты, архитекторы и ряд иных специалистов, в том числе и географы. Пространства городов неоднородны, в них также существуют различия, которые порождают связи – на работу, за услугами, на отдых и, наконец, домой. Города одинаковые на мелкомасштабных картах, при увеличении масштаба оказываются непохожими друг на друга. Их устройство индивидуально, но не уникально – они обладают общими чертами и структурными элементами. Индивидуальность оставляет простор для поиска закономерностей, как в территориальном устройстве, так и в пространственных связях.

Объектом нашего исследования являются малые города с численностью населения до 50 тыс. человек. Интерес к ним обусловлен многообразием форм их пространственного устройства и слабой научной освещённостью этого вопроса. Предмет исследования – социально-географическое пространство города (далее СГП), под которым понимается территория города, объекты городской среды и система реализуемых социально-пространственных связей [2, 6].

Несмотря на общее многообразие форм малых городов, их внутреннее устройство проще, чем у средних и крупных городских поселений. Как правило, это один или несколько центров концентрации объектов обслуживания, приложения труда, несколько районов многоквартирной застройки советского периода и значительные по размерам пространства малоэтажной индивидуальной застройки. Подобный состав характерен для подавляющего большинства малых городов Центральной России. Между территориями плотного проживания, зонами сосредоточения услуг и местами приложения труда – тремя типами городских ядер наиболее интенсивные ежедневные перемещения жителей, именно там функционирует местная экономика. Можно сказать, что город, как территория плотная, разнообразная и связанная существует в этих пределах.

Наиболее достоверный способ выявления ядер – сбор данных и построение на карте ареалов повышенной густоты объектов обслуживания, плотности населения, а также обозначение промышленных территорий. По результатам предшествующих исследований можно высказать предположение о наличии двух форм пространственного устройства малых городов [2]. Первая форма названа «исторической». Её отличает: сохранившееся историческое ядро, как правило, с развитой сервисной функцией; советский жилой микрорайон,

расположенный в отдалении и снабжённый собственными объектами обслуживания; промышленная застройка, при возможности примыкающая к жилому микрорайону. Вторая форма условно названа «современной». Её отличие в расположении всех трех центров – обслуживания, проживания и приложения труда в непосредственном соседстве друг с другом. Для примера представлено устройство Бежецка, отнесённого к историческому типу, и Конакова, отнесённого к современному типу (рис. 1). В Бежецке историческая часть города стала главным центром обслуживания не только города и района, но и прилегающих муниципальных образований. Ареал концентрации «ночного» населения расположен к северо-востоку, а основная промышленная застройка сконцентрирована на севере за рекой вдоль железной дороги. В Конакове все три ядра соседствуют друг с другом.



Р и с. 1. Расположение промышленности, ареалов концентрации населения и объектов обслуживания в Бежецке и Конакове

Источником информации для представленных выше карт послужили уточнённые в ходе полевых исследования данные сервиса OpenStreetMap (далее OSM). К сожалению, в OSM информация о малых городах не всегда в полной мере достоверна. Зачастую не отрисована застройка, данные об объектах обслуживания неполные и устаревшие. При изучении большого количества городов ручная проверка и дополнение данных отнимают много времени.

Чтобы компенсировать недостаток пространственных данных, было решено обратиться к космическим снимкам. Начиная с середины 10-х годов XXI в. активное развитие получили свёрточные нейронные сети, способные анализировать изображения. Компьютерное зрение позволяет находить нужные объекты, обводить их контуры,

классифицировать. Технология нашла применение во множестве сфер человеческой деятельности, в том числе и в изучении городов [1]. Для анализа снимков была выбрана нейронная сеть UNet с остаточной сетью «ResNet34», встроенная в картографическую программу ArcGis Pro. Сеть была обучена на 1,5 тыс. примерах пяти основных типов застройки в малых городах Центрального Федерального округа. Типы застройки представлены на (рис. 2). Многоэтажная застройка соответствует ареалам повышенной плотности населения и концентрации объектов обслуживания, общественно-деловая застройка – ареалам повышенной густоты объектов обслуживания.



Р и с. 2. Пять основных типов застройки

### Результаты исследования

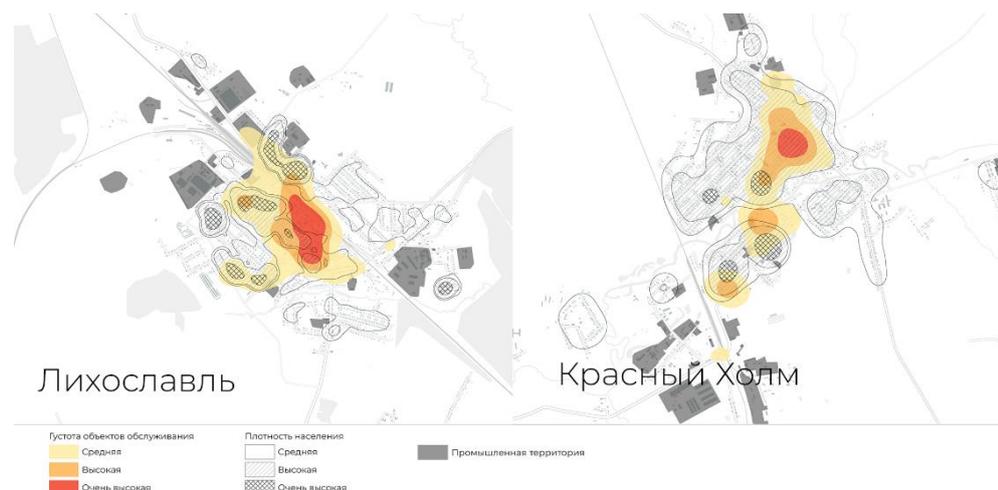
Классификация с помощью нейронной сети позволила значительно ускорить процесс выявления центров проживания, приложения труда и обслуживания. Обучение на основе примеров в 100 итераций заняло 6–7 часов, а распознавание изображений 190 малых городов ЦФО длилось около одного часа. Скорость обучения и распознавания зависит от вычислительных мощностей и в особенности от мощности видеокарты.

Результаты распознавания снимков позволили получить обобщённые контуры города и типов застройки в нем (рис. 3). Контуры вручную проверялись и корректировались. Наиболее точно выделяются три типа застройки – малозэтажная и многоэтажная застройка, а также промышленность. Контуры общественно-деловой и дачной застройки распознаются хуже и обладают менее чёткими контурами. При увеличении обучающей выборки и переобучении нейронной сети на уже скорректированных результатах можно повысить качество распознавания.



Р и с. 3. Примеры результатов распознавания Лихославля и Красного Холма

При сравнении результатов работы нейросети с векторными данными OSM можем наблюдать совпадения. Застройка многоэтажного типа совпадает с ареалами повышенной концентрации «ночного» населения, а общественно-деловая – с районами повышенной густоты объектов обслуживания.



Р и с. 4. Расположение промышленности, ареалов концентрации населения и объектов обслуживания в Лихославле и Красном Холме

По выделенным контурам можно подсчитать площади застройки разных типов. В большинстве малых городов основную долю застройки составляет малоэтажное жилье. Низкая доля этого типа застройки в Удомле и Бологом. Высокая доля промышленной застройки у Удомли, Торжка, Бологого, Осташкова, Кувшинова, Андреаполя и Лихославля. Большие пространства многоэтажной застройки свойственны Торжку,

Удомле, Нелидову, Осташкову, Кимрам, Вышнему Волочку, Калязину. Значительна доля общественно-деловой застройки в Бежецке, Красном Холме, Вышнем Волочке, Старице, Торопце, Торжке. Застройка дачного типа распространена в Кимрах и Конакова.

Кроме того, по контурам застройки можно группировать города по количеству и расположению ядер (Таблица ). Моноядерность и полиядерность определяется исходя из количества, размера и удалённости друг от друга городских ядер.

*Таблица*

Группировка городов по количеству городских ядер

Моноядерные	Полиядерные
Бежецк, Белый, Весьегонск, Западная Двина, Кашин, Кувшиново, Старица, Торопец, Зубцов, Удомля	Андреаполь, Бологое, Вышний Волочёк, Кимры, Калязин, Конаково, Лихославль, Нелидово, Осташков, Торжок



Р и с. 5. Схемы городов Тверской области по количеству городских ядер. Слева мноядерные, справа полиядерные

### **Выводы**

Обобщим плюсы и минусы данного метода сегментации снимков нейронной сетью. Из плюсов назовем возможность компенсации недостатка векторных данных, получения реального зонирования территории, исходя из типов застройки. Кроме того, нейросеть может быть обучена под любые иные задачи работы со снимками, обладает балансом скорости и точности классификации.

Среди минусов следует отметить необходимость значительный временных затрат на сбор обучающей выборки и высокие требования к вычислительной мощност компьютера. Метод затрaтен по используемым ресурсам, но позволяет получать достаточно точные результаты на обширной области исследования, при небольшой обучающей выборке и необходимости повторения множества рутинных операций.

### **Список литературы**

1. Кучиков Р. CityClass project: анализ типов городской застройки при помощи нейросети // Статья на Medium.com. 2017. URL<https://romankuchikov.medium.com/cityclass-project-37a9ebaa1df7>.
2. Лебедев П.С., Смирнов И.П. Социально-географическое пространство малого города (на примере городов Тверской области) // Вестник Тверского государственного университета. Серия: география и геоэкология. 2021. №4(36). С. 65–73.
3. Смирнов И.П. Средние города как опорные центры развития территории // Региональные исследования. 2015. №3(49). С. 116–121.
4. Ткаченко А.А. Ключевые понятия теории расселения: попытка переосмысления // Вестник Московского университета. Серия 5: география. 2018. №2. С. 10–15.
5. Ткаченко А.А. Подходы к созданию общей теории территориальной организации общества // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2008. №1. С. 21–26.
6. Ткаченко А.А. Социально-географическое пространство крупного города: концептуальные основы исследования // Городское пространство: социально-географические подходы: сборник научных трудов / Сборник научных трудов. Сер. «География и региональное развитие». Вып. 2. Тверь, 2002. С. 3–16.
7. Фомкина А.А. Функции районного центра: новый взгляд // Вестник Тверского государственного университета. Серия: география и геоэкология. 2015. №1. С. 79–87.

Об авторе:

ЛЕБЕДЕВ Павел Сергеевич – аспирант 2-го года обучения по направлению 1.6.13 «Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география», ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп. 2, e-mail: lebedevpavelgeo@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3215-0575, SPIN-код: 2861-1694. Научный руководитель: д.г.н., профессор А.А. Ткаченко.

## **EXPERIENCE OF URBAN FABRIC RESEARCH USING NEURAL NETWORKS ON THE EXAMPLE OF SMALL TOWNS IN THE TVER REGION**

**P.S. Lebedev**

Tver State University, Tver

The research was conducted within the framework of the concept of the socio-geographical space of the city and is aimed at assessing the urban space and possible spatial connections of the population. The article describes the experience of using neural networks to segment satellite images and highlight contours of various types of urban buildings on them. The types of development make it possible to differentiate the city, including to get a generalized picture of the functional zoning and urban cores of population gravity: service centers, accommodation and labor application. Information about the functional purpose and urban cores allows you to get an idea of the socio-spatial connections of the population. In addition, the method makes it possible to compensate for the lack of open spatial data for small cities. The main disadvantage of the method is the high requirements for computing power and the need to collect and mark up the source data.

**Keywords:** *socio-geographical space of the city, small towns, Tver region, urban space, convolutional neural network, satellite images.*