

УДК: 004.9: 314.8.061

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-327-336

И. Ю. Каторгин¹, П. П. Турун², А. Н. Роман³, Д. В. Юрин⁴

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам геоинформационного моделирования динамики плотности населения на региональном уровне, а также территориальным особенностям размещения и изменения населения Ставропольского края за период с 1959 по 2020 гг. Для моделирования плотности населения субъекта Федерации по данным Всесоюзных и Всероссийских переписей выбран метод построения цифровых моделей с помощью алгоритмов оценки ядерной плотности (kernel density). В качестве инструментов пространственного анализа и картографирования плотности населения выбраны геоинформационные программные средства MapInfo с модулем Vertical Mapper и Global Mapper, обладающие необходимым функционалом моделирования и анализа пространственных данных. Предложена авторская методика построения карт плотности населения, позволяющая учесть при выполнении моделирования всю площадь и конфигурацию населенного пункта и, соответственно, более точно отобразить каркас расселения. Использование технологий моделирования и пространственного анализа выявило региональные особенности динамики плотности населения в Ставропольском крае за шесть последних переписных периодов, а также за 60-летний период 1959–2020 гг. в целом. Приведенная методика построения карт изменения плотности населения региона позволяет с высокой степенью достоверности отразить происходящие изменения в эволюции расселения. Построенные модели могут быть полезны при изучении расселенческих и демографических процессов на территории Ставропольского края, позволяют сделать выводы и спрогнозировать направления развития определенных частей региона, могут быть полезны также при проведении территориального планирования и принятия управленческих решений в рамках региональной политики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационные технологии, геоинформационное моделирование, дазиметрические карты, Ставропольский край, плотность населения

¹ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра картографии и геоинформатики, пр-т Кулакова, 16/1, Ставрополь, Ставропольский край, Россия, 355044, e-mail: katorgin1974@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра физической географии и кадастров, пр-т Кулакова, 16/1, Ставрополь, Ставропольский край, Россия, 355044, e-mail: turun_geob1@mail.ru

³ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра картографии и геоинформатики, пр-т Кулакова, 16/1, Ставрополь, Ставропольский край, Россия, 355044, e-mail: roman_alex@mail.ru

⁴ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра физической географии и кадастров, пр-т Кулакова, 16/1, Ставрополь, Ставропольский край, Россия, 355044, e-mail: rinyu@yandex.ru

Igor Yu. Katorgin¹, Pavel P. Turun², Alexander N. Roman³, Dmitry V. Yurin⁴

GEOINFORMATION MODELING OF POPULATION DENSITY DYNAMICS IN THE STAVROPOL KRAI

ABSTRACT

The article is dedicated to the issues of geoinformation modeling of population density dynamics at the regional level, as well as the territorial features of the distribution and changes in the population of the Stavropol Krai for the period from 1959 to 2020. To model the population density of the constituent entity based on data from the All-Union and All-Russian censuses, a method was chosen to create digital models using algorithms for estimating kernel density. MapInfo geographic information software with the Vertical Mapper and Global Mapper modules, which have the necessary functionality for modeling and analysis spatial data, were chosen as tools for spatial analysis and mapping of population density. The author's methodology for creating population density maps is proposed, which makes it possible to take into account the entire area and configuration of a settlement when performing modeling and, accordingly, more accurately display the settlement framework. Using modeling technologies and spatial analysis we identified regional features of population density dynamics in the Stavropol Krai for the last six census periods in particular, as well as for the 60-year period 1959–2020, in general. The presented methodology for creating maps of changes in population density in a region allows us to reflect with a high degree of reliability the ongoing changes in the evolution of settlement. The created models can be useful for studying settlement and demographic processes in the territory of the Stavropol Krai; they allow drawing conclusions and predicting the directions of development of certain parts of the region; they can also be useful in carrying out territorial planning and making management decisions within the framework of regional policy.

KEYWORDS: geographic information technologies, geographic information modeling, dasymetric maps, Stavropol Krai, population density

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных в экономической и социальной географии является концепция «центр — периферия», которая свидетельствует об усилении процессов пространственной поляризации, приводящей к значительным региональным диспропорциям, связанным с размещением населения [Грицай и др., 1991; Зайончковская, 1991; Родоман, 1998; Город и деревня..., 2001; Friedmann, 1966].

Демографическая обстановка изменчива, требует оперативной обработки больших массивов данных, проведения пространственно-временного анализа и отображения полученных результатов. Развитие инструментов геопропространственного анализа позволяет совершенствовать методики анализа пространственно-временных особенностей распределения населения, в т. ч. путем построения дазиметрических карт — разновидности карт расселения, нацеленных на адекватный реальному размещению населения учет и показ плотности населения на определенной территории [Полян, 2012].

¹ North-Caucasian Federal University, Department of Cartography and Geoinformatics, 16/1, Kulakova Ave., Stavropol, 355044, Russia; *e-mail*: katorgin1974@mail.ru

² North-Caucasian Federal University, Department of Physical Geography and Cadastres, 16/1, Kulakova Ave., Stavropol, 355044, Russia; *e-mail*: turun_geo61@mail.ru

³ North-Caucasian Federal University, Department of Cartography and Geoinformatics, 16/1, Kulakova Ave., Stavropol, 355044, Russia; *e-mail*: roman_alex@mail.ru

⁴ North-Caucasian Federal University, Department of Physical Geography and Cadastres, 16/1, Kulakova Ave., Stavropol, 355044, Russia; *e-mail*: rinyu@yandex.ru

Обзор исследований в области методов изучения и картографирования ареалов расселения и динамики населения [Полян, 2012; Кушнырь, 2015; Рыльский и др., 2019; Добрякова, Добряков, 2020; Воробьев, Воробьев, 2021; Махмудов и др., 2023] позволяет говорить о значительном интересе к данной проблематике, о прогрессе методов геоинформационного анализа и моделирования.

Основная цель работы заключается в разработке методики моделирования плотности населения Ставропольского края и выявления на основе ее использования основных тенденций динамики численности в регионе за послевоенный период.

Современная динамика демографических процессов в Ставропольском крае в целом соответствует общероссийским тенденциям. Всероссийская перепись населения 2020 г. показала, что численность населения региона сократилась на 0,7 %. В большинстве муниципальных и городских округов, за исключением пригородных, наблюдается также сокращение числа жителей.

Естественный прирост в Ставропольском крае в 2018–2022 гг. отрицательный (например, –2,9 % в 2022 г.), что в результате влияет на сокращение численности населения. Коэффициент рождаемости составлял 8,7 чел. на 1000 жителей, смертности — 11,6.

Показатели рождаемости ниже, чем требуется для замещения поколений: в среднем на одну женщину в крае приходится 1,4 рождений. Такой уровень обеспечивает замену поколений только на 2/3.

Территория Ставропольского края считается благоприятной для жизни населения, что влияет на привлекательность территории. В 2023 г. число прибывших в край, исключая внутрикраевую миграцию, составило 39,5 тыс. чел., из которых 13,8 % приходится на международные потоки. Из региона выбыло 38,0 тыс. чел., в т. ч. за пределы страны 15,6 %. В крае был зарегистрирован миграционный прирост населения, равный 1 488 чел.¹

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным источником данных о населении Ставропольского края послужили материалы Всесоюзных и Всероссийских переписей населения за период 1959–2020 гг.

Векторные слои с пунсонами и площадными контурами 760 населенных пунктов края созданы с использованием разновременных крупномасштабных топографических карт края и космоснимков из поисково-информационной картографической службы Яндекса.

В качестве инструментов пространственного анализа и картографирования плотности населения выбраны ГИС-пакеты MapInfo с модулем Vertical Mapper и Global Mapper, обладающие набором инструментов для моделирования и анализа данных.

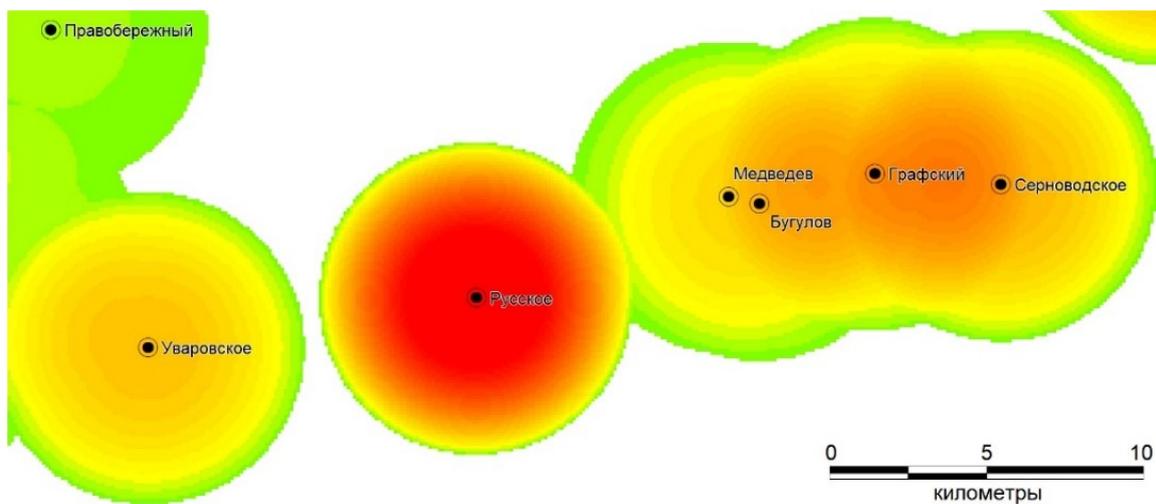
Для построения поверхностей разности плотности населения по периодам был использован метод оценки плотности ядра (kernel density), реализованный как инструмент анализа распределения плотности объектов или их численных атрибутов в Global Mapper. Данный инструмент позволяет с использованием весовой функции вычислить плотность показателя, присвоенного векторному точечному объекту, моделирующему населенный пункт (или его часть), на определенном радиусе вокруг каждой ячейки выходного растра (поверхности) плотности.

Перед проведением моделирования необходимо было решить три вопроса: как сделать моделирование поверхностей более точным, какие выбрать тип весовой функции (тип ядра) и радиус ядра.

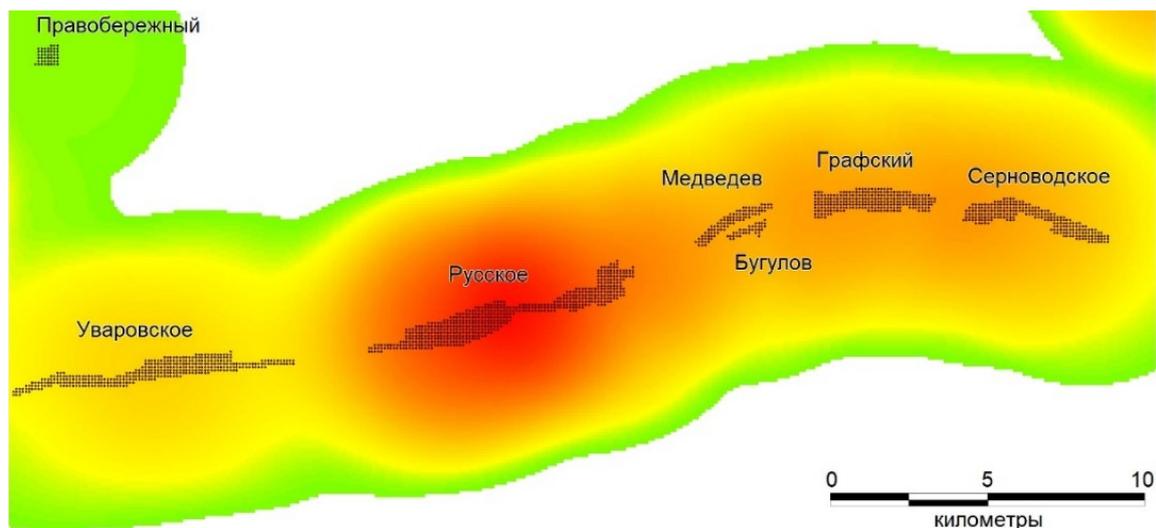
В вопросе увеличения точности решение удалось найти в использовании в качестве точек данных не дискретно расположенных векторных точек, моделирующих положение

¹ Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу. Электронный ресурс: <https://26.rosstat.gov.ru/> (дата обращения 10.02.2024)

населенного пункта (рис. 1а), а групп векторных точек, регулярно расположенных на определенном расстоянии друг от друга, например, 100 м, и моделирующих площадной образ населенного пункта (рис. 1б).



(а)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Плотность населения, чел./км²



(б)

Рис. 1. Результаты ядерной оценки плотности для радиуса поиска 5 км:
а) при моделировании населенного пункта точкой; б) при моделировании населенного пункта группой точек, регулярно расположенных внутри контура населенного пункта

Fig. 1. Results of kernel density estimation for a search radius of 5 km:
a) when modeling a populated area with a point; b) when modeling a populated area by a group of points regularly located inside the contour of the populated area

Создание таких векторных слоев проводилось следующим образом:

- нанесены векторные полигональные контуры населенных пунктов;
- сформирована атрибутивная база данных и вычислены показатели изменения плотности населения в населенном пункте исходя из количества населения на 1 га площади каждого населенного пункта;
- проведены векторно-растровые преобразования и получен ряд растровых слоев, где в качестве атрибута выступает показатель разности в плотности населения;
- растровые слои конвертированы в векторные с экстракцией точек — центров, соответствующих их положению растровых ячеек, с присваиванием каждой точке соответствующего атрибута изменения плотности населения.

Таким образом, при моделировании удалось задействовать все территории населенных пунктов, тем более что значительная часть поселений Ставропольского края имеют вытянутую форму, обусловленную их формированием вдоль рек и дорог, и, соответственно, точнее изобразить каркас расселения.

При выборе типа ядра мы руководствовались заложенными в них параметрами сглаживания, как компромисса между смещением и дисперсией в результате. В ГИС-пакете Global Mapper реализовано три типа ядер: равномерное, Епанечниково, гауссово. Гауссово ядро приводит к очень плавному, с большим смещением, распределению плотности. Равномерное ядро приводит к негладкому распределению плотности, с высокой дисперсией. Нами было выбрано ядро Епанечникова, на наш взгляд оптимальное в смысле среднеквадратичной ошибки, хотя для перечисленных выше ядер потеря эффективности невелика [Епанечников, 1969].

Ядерная оценка плотности требует специфицировать ширину радиуса поиска (радиуса ядра). Исходя из того, что население в основном постоянно или, по крайней мере, большую часть времени находится в границах населенных пунктов, радиус поиска представляется величиной неконкретной и, по-видимому, зависящей от мнения исследователя [Семенов-Тянь-Шанский, 1923; Полян, 2012; Воробьев, Воробьев, 2021]. При моделировании плотности населения мы использовали предложенный П. М. Поляном радиус поиска 10 км.

Визуализация результатов моделирования осуществлена путем построения изолинейных карт (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Территория Ставропольского края отличается разнообразием природных условий. Подобные различия влияют на специализацию отраслевой структуры экономики, в т. ч. сельского хозяйства, которая сказывается на плотности населения и его территориальной концентрации.

Так, для восточной части региона характерен засушливый климат, малоплодородные почвы, что исторически оказало влияние на развитие овцеводства. Западнее, при увеличении количества выпадающих осадков, усиливается значение растениеводства, особенно зернового хозяйства и овощеводства. Наличие минеральных источников и благоприятный климат предгорий на юге края влияет на развитие санаторно-курортного комплекса региона Кавказских Минеральных Вод.

На диспропорции в размещении населения оказывает влияние и положение относительно центров расселения различного уровня, при этом со временем контрасты по линии «центр — периферия» постепенно усиливаются.

Среднее значение плотности населения Ставропольского края по материалам Всероссийской переписи населения 2020 г. составляет 43,9 чел./км², сельского — 17,3.

В разрезе городских и муниципальных округов (ранее административных районов) она изменяется от 6,8 до 92,5 чел./км² (градиент плотности достигает почти четырнадцатикратного размаха), сельских — в пределах 6,8–55,1. Однако только на территории 1/4 административных единиц региона значение плотности превышает среднекраевой уровень.

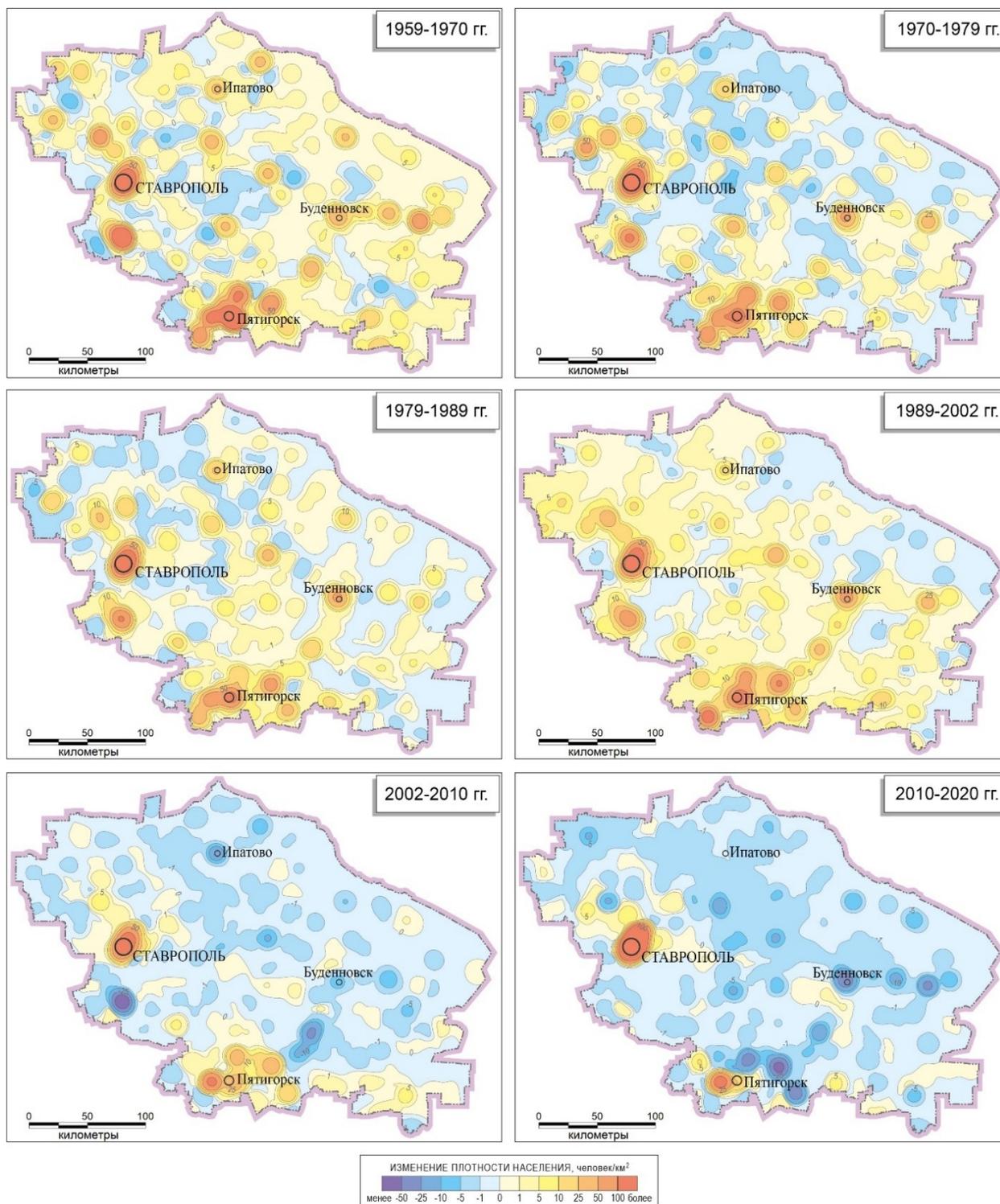


Рис. 2. Изменение плотности населения Ставропольского края за переписные периоды
Fig. 2. Changes in population density of the Stavropol Krai over census periods

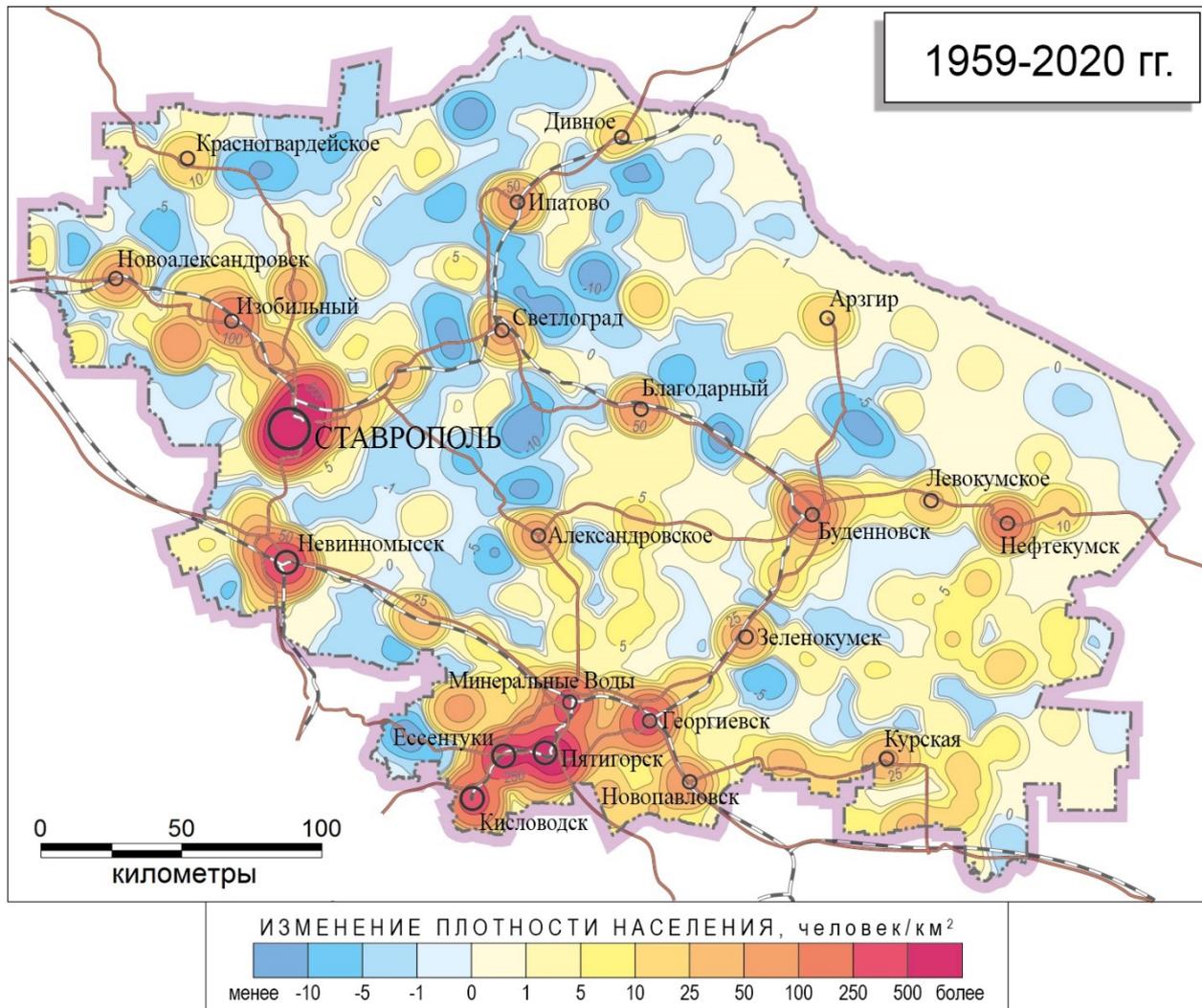


Рис. 3. Изменение плотности населения Ставропольского края за период 1959–2020 гг.
Fig. 3. Changes in population density of the Stavropol Krai for the period 1959–2020

Соотношение между минимальной и максимальной плотностью населения по округам меняется: если в 1959 г. оно составляло 1:24, то в настоящее время — 1:28 (по сельскому населению, соответственно, 1:5,2 и 1:8,1).

На территории Ставрополья существуют значительные диспропорции в плотности населения между засушливыми районами востока края и территорией агломераций, а также зонами их влияния на западе и юге.

В высокоурбанизированных округах на юге края (Георгиевский, Минераловодский, Предгорный, Шпаковский), которые находятся в зоне влияния Ставропольской и агломерации Кавказских Минеральных Вод (КМВ), наблюдается увеличение средней плотности сельского населения в течение 1959–2020 гг. в пределах 20–100 % (рис. 3).

В пределах городских агломераций при высоких показателях плотности населения, в т. ч. сельского, которые значительно превышают средние по региону, происходит формирование густой сети населенных пунктов, образующих вместе с городскими поселениями единую заселенную территорию.

В восточной засушливой части края, в природных зонах сухих степей и полупустынь показатели плотности снижаются до минимальных значений. На этой территории они значительно уступают среднекраевому уровню (в 3–6 раз). Сеть сельских населенных

пунктов становится более разреженной, дополняется небольшим количеством городских поселений, среди которых преобладают малые и средние (Буденновск).

На территории Ставрополья сельское расселение отличается устойчивостью вследствие довольно густой сети опорных центров, представленных городскими агломерациями, «столицами» городских и муниципальных округов, которые формируют очаги высокой плотности населения [Турун, 2013].

Изменение числа жителей и, как следствие, его плотности происходит неравномерно по всей территории региона. Население увеличивается или сохраняется на прежнем уровне, в первую очередь в пригородных районах краевого центра и крупных городов региона. По мере удаления от опорных центров снижается плотность населения.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика построения карт изменения плотности населения региона позволяет с высокой степенью достоверности отразить происходящие изменения в эволюции расселения; построенные модели могут быть полезны при изучении расселенческих и демографических процессов на территории Ставропольского края.

Своеобразие распределения плотности населения в пределах Ставропольского края хорошо вписывается в модель «центр — периферия»: с удалением от агломераций региона (краевой центр и города-курорты КМВ) снижаются показатели плотности населения и густота населенных пунктов. Вместе с тем существенное влияние на демографические и расселенческие характеристики, прежде всего по линии запад — восток, оказывает природная неоднородность территории.

Изменение плотности населения приводит к трансформации системы расселения, которое из сплошного и относительно равномерного превращается в пятнистое [Зайончковская, 1991]. Процесс концентрации населения распространяется как на городскую, так и на сельскую местность, резко дифференцируя сельские поселения по темпам роста. Происходит стягивание сельского населения в зоны влияния городов, в первую очередь крупных.

В результате происходит концентрация населения в крупных поселениях, как городских, так и сельских, в пригородных зонах и вдоль транспортных магистралей.

Отличительной особенностью расселенческих процессов в регионе является их широкий диапазон. Поселенческая сеть на востоке края находится в стадии автономного развития, при этом демографические ресурсы сельской местности еще достаточны, чтобы обеспечить рост городов, не нарушая сеть сельского расселения. Процесс концентрации населения наиболее характерен для центральной части края, где происходит интенсивное сокращение и измельчение поселений. В пределах городских агломераций городское и сельское население интегрируются, что обеспечивает более интенсивные и короткие производственные связи для хозяйства и доступность всех видов деятельности и набора услуг для населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьев Н. В., Воробьев А. Н. Составление карты субрегиональных типов динамики населения Иркутской области. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф., 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 361–372. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-361-372.

Город и деревня в Европейской России: сто лет перемен. М.: ОГИ, 2001. 560 с.

Грицай О. В., Йоффе Г. А., Трейвиш А. И. Центр и периферия в региональном развитии. М.: Наука, 1991. 167 с.

Добрякова В. А., Добряков А. Б. Моделирование изменения численности населения с учетом положения муниципальных образований в системе расселения (на примере Тюменской области). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф., 2020. Т. 26. Ч. 1. С. 215–227. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-215-227.

Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности. Теория вероятности и ее применение, 1969. Т. 14. Вып. 1. С. 156–161. DOI: 10.1137/1114019.

Зайончковская Ж. А. Демографическая ситуация и расселение. М.: Наука, 1991. 132 с.

Кушнырь О. В. Разработка методики картографирования ареалов концентрации населения. Дис. ... кандидата технических наук. М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2015. 117 с.

Махмудов Р. К., Эшроков В. М., Черкасов А. А., Турун П. П., Луценко Д. А. ГИС-моделирование локальных систем расселения Буденновского муниципального округа Ставропольского края. Геодезия и картография, 2023. № 10. С. 29–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-29-38.

Полян П. М. Дазиметрические карты В.П. Семенова-Тян-Шанского и их перспективы в информационном поле XXI века. Известия РАН. Серия географическая, 2012. № 6. С. 98–106. DOI: 10.15356/0373-2444-2012-6-98-106.

Родоман Б. Б. Новая поляризация российского пространства. Полюса и центры роста в региональном развитии. М.: ИГ РАН, 1998. С. 31–36.

Рыльский И. А., Грибок М. В., Черешня О. Ю., Калинин И. В. Методика создания анимационных карт динамики численности городов Российской Федерации в течение 1959–2018 годов. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф., 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 138–150. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-138-150.

Семенов-Тянь-Шанский В. П. Дазиметрическая карта Европейской России. Петроград: Научное Химико-Техническое издательство, 1923. 26 с.

Турун П. П. Основные черты трансформации сельского расселения Ставропольского края в 1959–2010 гг. Вопросы географии. Сб. 135: География населения и социальная география. М.: Издательский дом «Кодекс», 2013. С. 322–335.

Friedmann J. Regional development policy. Boston: Mass. Inst. Techn., 1966. 233 p.

REFERENCES

City and village in European Russia: a hundred years of change. Moscow: OGI, 2001. 560 p. (in Russian).

Dobryakova V. A., Dobryakov A. B. Modeling of temporal development of population taking into account the situation of municipalities in the resettlement system (on the example of the Tyumen Region). InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of International Conference, 2020. V. 26. Part 1. P. 215–227 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-215-227.

Epanechnikov V. A. Nonparametric estimation of multivariate probability density. Theory of Probability & Its Applications, 1969. V. 14. Iss. 1. P. 156–161 (in Russian). DOI: 10.1137/1114019.

- Friedmann J.* Regional development policy. Boston: Mass. Inst. Techn., 1966. 233 p.
- Gritsai O. V., Yoffe G. A., Treyvish A. I.* Center and periphery in regional development. Moscow: Nauka, 1991. 167 p. (in Russian).
- Kushnyr O. V.* Development of a methodology for mapping areas of population concentration. PhD dissertation in techn. sc. Moscow: Moscow State University of Geodesy and Cartography, 2015. 117 p. (in Russian).
- Makhmudov R. K., Eshrokov V. M., Cherkasov A. A., Turun P. P., Lutsenko D. A.* GIS modeling of local settlement systems of the Budennovsky municipal district of the Stavropol Territory. *Geodesy and Cartography*, 2023. No. 10. P. 29–38 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-29-38.
- Polyan P. M.* Dasymetric maps of V. P. Semenov-Tyan-Shansky and their prospects in the information field of the 21 Century. *Izvestia RAS. Seriya Geograficheskaya (News of the Academy of Sciences of Russia. Geographical series)*, 2012. No. 6. P. 98–106 (in Russian). DOI: 10.15356/0373-2444-2012-6-98-106.
- Rodoman B. B.* New polarization of Russian space. Poles and centers of growth in regional development. Moscow: IG RAS, 1998. P. 31–36 (in Russian).
- Rylsky I. A., Gribok M. V., Chereshnya O. Yu., Kalinkin I. V.* Method of creating animated maps of urban population dynamics in Russian Federation during 1959–2018. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of International Conference*, 2019. V. 25. Part 1. P. 138–150 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-138-150.
- Semenov-Tyan-Shansky V. P.* Dasymetric map of European Russia. Petrograd: Scientific Chemical-Technical Publishing House, 1923. 26 p. (in Russian).
- Turun P. P.* The main features of the transformation of rural settlement in the Stavropol Krai in 1959–2010. *Geography issues. Sat. 135: Geography of population and social geography*. Moscow: Publishing house "Kodeks", 2013. P. 322–335 (in Russian).
- Vorobyov N. V., Vorobyov A. N.* Mapping subregional types of population dynamics of Irkutsk region. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of International Conference*, 2021. V. 27. Part 4. P. 361–372 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-361-372.
- Zayonchkovskaya Zh. A.* Demographic situation and settlement. Moscow: Nauka, 1991. 132 p. (in Russian).
-