

УДК 911.3:656.13(476)(043.3)

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ИМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. П. БЕЗРУЧЕНОК¹⁾, А. Л. КИНДЕЕВ¹⁾, А. Г. МАЗЬКО²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Национальное кадастровое агентство, пер. Краснозвездный, 12, 220005, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Рассмотрена территориальная организация сети электрических зарядных станций (ЭЗС) в Республике Беларусь. Обоснованы необходимость и актуальность совершенствования и укрупнения сети ЭЗС в стране в связи со значительным ростом (более 127 %) количества электромобилей за 2021–2022 гг. Приведен краткий обзор состояния современного рынка ЭЗС. Разработан методический алгоритм географического анализа территориальной структуры сети ЭЗС, позволяющий выявить диспропорции в их размещении по административным районам. Выяснено, что в 47 % административных районов нет ЭЗС. Определены зоны обслуживания ЭЗС, при этом наиболее обеспечен ими трансъевропейский транспортный коридор Е30, проходящий по маршруту Брест – Минск – граница Российской Федерации (магистраль М1), и только участок дороги от г. Минска до г. Орши имеет полное покрытие ЭЗС. Неэффективны магистрали М3, М8 и М11, где ЭЗС располагаются лишь в крупных городах и отсутствуют на межселенных территориях. При вычислении суммарного расстояния, на котором необходимо размещать ЭЗС, рассчитано, что для полного покрытия всех основных автомобильных дорог в стране нужно установить более 200 ЭЗС с учетом норматива 1 ЭЗС на 50 км. Выполнена оценка административных районов по уровню дефицита покрытия дорог зонами обслуживания ЭЗС, а также по степени обеспеченности ЭЗС на душу населения. Выявлено, что 72 административных района из 118 имеют высокий и очень высокий уровень дефицита, 8 административных районов – средний уровень дефицита и 38 административных районов – низкий и очень низкий уровень дефицита. На базе проведенного сетевого анализа предложено размещение новых ЭЗС в местах существующей придорожной инфраструктуры. Разработанные предложения по совершенствованию сети ЭЗС позволяют выделить административные районы с уже имеющейся инфраструктурой (Молодечненский, Браславский, Мостовский, Волковысский районы и др.) для установки в них ЭЗС в первую очередь и административные районы без нее (Ельский, Наровлянский, Брагинский, Верхнедвинский, Россонский, Климовичский и Хотимский районы) для установки в них ЭЗС во вторую очередь.

Ключевые слова: электромобили; устойчивая мобильность; электрические зарядные станции; ЭЗС; обеспеченность; Республика Беларусь.

Образец цитирования:

Безрученко АП, Киндеев АЛ, Мазько АГ. Территориальная структура сети электрических зарядных станций и обеспеченность ими в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2024; 1:62–75.

EDN: PLZLMG

For citation:

Bezruchonak AP, Kindzeyeu AL, Mazko AG. Territorial structure of a network of electric vehicles charging stations and their availability in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2024;1:62–75. Russian. EDN: PLZLMG

Авторы:

Андрей Петрович Безрученко – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры экономической и социальной географии факультета географии и геоинформатики.

Аркадий Леонидович Киндеев – преподаватель кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики.

Алесья Геннадьевна Мазько – специалист по кадастру и геоинформационным системам.

Authors:

Andrei P. Bezruchonak, PhD (geography), docent; associate professor at the department of economic and social geography, faculty of geography and geoinformatics.

bezruchonak@bsu.by

Arkadi L. Kindzeyeu, lecturer at the department of soil science and geographic information systems, faculty of geography and geoinformatics.

akindeev@tut.by

Alesia G. Mazko, specialist in cadastre and geographic information systems.

mazkooy@gmail.com

TERRITORIAL STRUCTURE OF A NETWORK OF ELECTRIC VEHICLES CHARGING STATIONS AND THEIR AVAILABILITY IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. P. BEZRUCHONAK^a, A. L. KINDZEYEU^a, A. G. MAZKO^b

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bNational Cadastral Agency, 12 Chyrvonazorny Lane, Minsk 220005, Belarus

Corresponding author: A. L. Kindzeyeu (akindeev@tut.by)

Abstract. The article discusses the territorial organisation of a network of electric vehicles charging stations (EVCS) in the Republic of Belarus. The necessity and relevance of improving and enlarging the network of EVCS in the country is substantiated in connection with the significant growth (more than 127 %) in the number of electric vehicles in 2021–2022. A brief overview of the state of the modern EVCS market is provided. A methodological algorithm for the geographical analysis of the territorial structure of the network of EVCS has been developed, which makes it possible to identify disproportions in their distribution across the administrative regions of the country. It was revealed that 47 % of administrative districts are not provided with EVCS. The service areas of the EVCS have been determined, the most well-supported section is the trans-European transport corridor E30, passing along the route Brest – Minsk – border of the Russian Federation (highway M1). Moreover, only the section of the road from Minsk to Orsha has full EVCS coverage. The highways M3, M8, and M11 are ineffective, where EVCS are located only in large cities and are absent in inter-settlement areas. When determining the total distance at which it is necessary to place EVCS, it was found that in order to fully cover all major highways in the country, it is necessary to place more than 200 EVCS, taking into account the standard of 50 km per 1 EVCS. The administrative districts were assessed by the level of shortage of roads not covered by EVCS service areas, as well as by the level of provision of EVCS per capita. It was revealed that 72 administrative districts out of 118 have a high and very high level of deficit of roads in the district, 8 administrative districts – with a medium level of deficit and 38 administrative districts – with a low and very low level of deficit. Based on the network analysis, it is proposed to locate new EVCS in areas with existing roadside infrastructure. The developed proposals for improving the network of EVCS make it possible to allocate administrative districts with existing infrastructure (Molodechno, Braslav, Mosty, Volkovysk districts, etc.) for the installation of EVCS in them in the first place and administrative districts without it (Yelsk, Narovlyany, Bragin, Verkhnedvinsk, Rossony, Klimovichy, and Khotimsk districts) in them in the second place.

Keywords: electric vehicles; sustainable mobility; electric vehicles charging stations; EVCS; availability; Republic of Belarus.

Введение

Актуальность темы исследования. Автомобильный транспорт – неотъемлемый элемент социально-экономического развития Республики Беларусь, покрывающий растущие потребности населения в мобильности. Географически он представляет собой убиквитетный вид транспорта с наибольшим территориальным охватом транспортной сети по стране (протяженность дорожного покрытия в 2021 г. составляла 103,4 тыс. км, из них 90,0 тыс. км занимали дороги с твердым покрытием). Функционально автомобильный транспорт вышел на первое место по объему перевозок грузов (40 % с учетом трубопроводного транспорта и около 56 % без учета его) и пассажиров (59,1 %), опередив железнодорожный транспорт¹. Неоспоримым является повышение значимости социальной роли автомобиля, что нашло отражение в росте автомобилизации населения, создающей повышенный спрос на дорожную инфраструктуру и способствующей возникновению проблем транспортного характера (пробок и заторов, загрязнения воздуха и почв и др.).

По оценкам ООН, на транспорт приходится около 25 % выбросов парниковых газов (непосредственно на автомобильный транспорт, по некоторым данным, – около 10 % глобальных выбросов), что влияет на процесс изменения климата². При этом в настоящее время во многих странах мира популярен дискурс перехода к концепции устойчивой городской мобильности, под которой понимается способность поддерживать

¹Транспорт в Республике Беларусь, 2022 [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_52718/ (дата обращения: 10.10.2023).

²Fact sheet climate change [Electronic resource] // United Nations. URL: https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/media_gstc/FACT_SHEET_Climate_Change.pdf (date of access: 10.10.2023); Transport. Cars and vans [Electronic resource] // Int. Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/energy-system/transport/cars-and-vans> (date of access: 10.10.2023).

доступное, безопасное, эффективное передвижение людей, грузов и информации при нанесении минимального ущерба окружающей среде³.

Сокращение выбросов, стремление к энергетической эффективности, улучшение качества воздуха и уменьшение шумового загрязнения от транспорта выступают приоритетами устойчивого развития многих государств, что поддерживается на глобальном уровне декларацией целей в области устойчивого развития ООН (цели 7, 9 и 11). Европейский союз, к примеру, к 2030 г. намерен снизить объем выбросов парниковых газов от новых автомобилей на 55 %, а к 2035 г. – на 100 %⁴.

Одними из трендов, направленных на экологизацию транспорта, являются производство и использование электротранспорта. Переход от двигателей внутреннего сгорания к электрическим двигателям – заметная тенденция в мировом автомобилестроении, что находит отражение в динамике продаж. Так, доля аккумуляторных электромобилей, подключаемых гибридных электромобилей, а также электромобилей на топливных элементах в общем количестве реализованных автомобилей выросла с 4 % в 2020 г. до 14 % в 2022 г. (рис. 1). В 2022 г. было продано около 10 млн электромобилей⁵.

Рынок электромобилей в Республике Беларусь находится в стадии формирования, а спрос на персональный электротранспорт удовлетворяется за счет импорта. В 2021 г. в стране было зарегистрировано 3,1 млн легковых автомобилей (находящихся в личной собственности граждан и принадлежащих организациям), в том числе 1600 электромобилей (удельный вес составил 0,05 %). За год количество электромобилей увеличилось до 3635 ед., обеспечив прирост более 127 %, а их доля достигла 0,12 %⁶.

Региональная структура распределения легковых электромобилей в Республике Беларусь по данным за 2022 г. представлена в таблице. Первое место по количеству зарегистрированных электромобилей занимают г. Минск и Минская область (68,9 %), что обусловлено прежде всего демографическими причинами (наибольшей численностью населения). На втором месте расположена Брестская область (9,7 %). Наименьший показатель характерен для Могилёвской области (3,4 %).

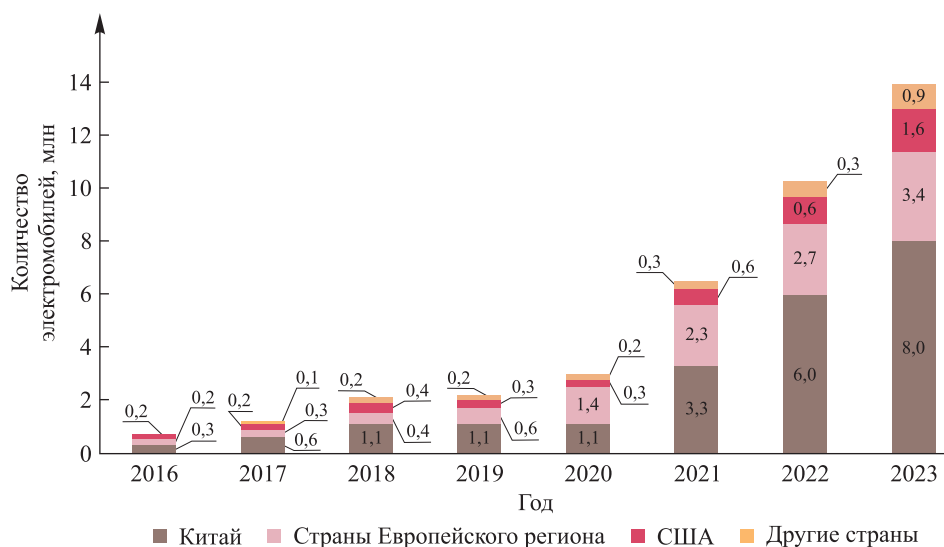


Рис. 1. Продажи электромобилей в мире в 2016–2023 гг.
Для 2023 г. указаны прогнозные значения
(составлено по данным Международного энергетического агентства)

Fig. 1. Global electric vehicles sales in 2016–2023.
For 2023, forecast values are indicated
(compiled according to International Energy Agency data)

³Sustainable mobility for the 21st century [Electronic resource] // The World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/07/10/sustainable-mobility-for-the-21st-century> (date of access: 10.10.2023).

⁴Reducing car emissions: new CO₂ targets for cars and vans explained [Electronic resource] // Eur. Parliament. URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180920STO14027/reducing-car-emissions-new-co2-targets-for-cars-and-vans-explained> (date of access: 10.10.2023).

⁵Transport. Electric vehicles [Electronic resource] // Int. Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles> (date of access: 10.10.2023).

⁶Экономическая статистика. Наличие транспортных средств (на конец года) [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=264588> (дата обращения: 10.10.2023).

Количество электромобилей в Республике Беларусь в 2022 г.

Number of electric vehicles in the Republic of Belarus in 2022

Показатели	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Гродненская область	Минская область (г. Минск)	Могилёвская область
Количество, ед.	353	145	260	252	776 (1723)	126
Доля, %	9,7	3,9	7,2	6,9	21,4 (47,5)	3,4

Примечание. Составлено по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь.

На развитие легкового пассажирского электротранспорта в Республике Беларусь влияет несколько факторов, в том числе законодательный. С 2018 г. в стране был принят ряд соответствующих постановлений и программ. Так, постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10 октября 2018 г. № 731 была утверждена Программа создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей, допускающая одновременное использование земельных участков по целевому назначению и размещению электрических зарядных станций (ЭЗС) и др. Данная программа предусматривает устройство 1304 ЭЗС к 2030 г.⁷ Указ Президента Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 92 определил меры стимулирования использования электромобилей, включающие в себя освобождение от налога на добавленную стоимость при ввозе электромобиля⁸. В Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года указывается важность создания благоприятных условий для использования электромобилей⁹. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213 была утверждена Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 годы¹⁰. В некоторых из перечисленных документов отмечается стратегическая значимость ввода в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции в качестве стимулирующей меры развития электротранспорта, которая обеспечит наличие необходимой электроэнергии для устойчивого функционирования инфраструктуры ЭЗС.

Однако сейчас в сочетании с динамичным ростом рынка электромобилей и принятием мер по его стимулированию в Республике Беларусь нужна комплексная географическая оценка обеспеченности инфраструктурой ЭЗС в разрезе административных районов, а также исследование ее доступности в контексте географии дорожной сети. Цель статьи – изучение современного рынка, территориальной организации сети ЭЗС в стране с выявлением пространственных дифференциаций в их размещении. В связи с этим предполагается решение следующих задач: краткий ретроспективный обзор развития рынка ЭЗС в Республике Беларусь, создание методического алгоритма географического анализа территориальной структуры ЭЗС с использованием инструментария геоинформационных систем (ГИС), оценка географической доступности ЭЗС и обеспеченности ими административных районов страны (по протяженности участков дорожной сети без покрытия ЭЗС, а также на душу населения), установление территориальных диспропорций в размещении ЭЗС и разработка рекомендаций по совершенствованию их существующей сети. Таким образом, географическая оценка инфраструктуры ЭЗС позволит выявить региональные различия в размещении ЭЗС на территории Республики Беларусь, а измерение доступности ЭЗС и обеспеченности ими административных районов даст возможность выделить участки, на которых рекомендуется установка новых ЭЗС.

Состояние изученности вопроса. Активное производство электромобилей, рост объемов их продаж и развитие необходимой сопутствующей инфраструктуры способствовали повышению интереса к теоретическим и прикладным исследованиям, направленным на изучение не только технико-экономических, но и пространственных аспектов этой отрасли и посвященным в первую очередь обоснованию географии размещения инфраструктуры ЭЗС.

⁷ Об утверждении Программы создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 10 окт. 2018 г. № 731 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21800731&p1=1&p5=0> (дата обращения: 10.10.2023).

⁸ О стимулировании использования электромобилей [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь от 12 марта 2020 г. № 92 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32000092&p1=1> (дата обращения: 10.10.2023).

⁹ Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года / М-во экономики Респ. Беларусь. Минск: Науч.-исслед. экон. ин-т М-ва экономики Респ. Беларусь, 2020. 82 с.

¹⁰ О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 апр. 2021 г. № 213 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100213&p1=1&p5=0> (дата обращения: 10.10.2023).

На данный момент строгого алгоритма регламентации условий размещения ЭЭС нет, однако специалисты выделили основные методические аспекты такого пространственного анализа. Считается, что традиционным подходом к решению данного вопроса является установка объектов в зависимости от расположения отдельных точечных атрибутов [1]. Однако согласно более поздним исследованиям этот подход может привести к ошибке при измерении расстояния между местом рождения спроса и местом возникновения предложения (сервисным центром), что повлияет на результат определения необходимого местоположения изучаемого объекта. Более того, модели точечного представления информации не решают задачи по установлению параметров оптимального покрытия дорожной сети ЭЭС [2]. Похожий подход, который заключается в применении нейросетей и виртуальной реальности для обработки данных, полученных от пользователей, и анализе модели инфраструктуры города, был задействован при исследовании сети ЭЭС в г. Пекине (Китай) [3]. Другой метод, основанный на теории массового обслуживания и разработанный Г. А. Писаревым на примере г. Красноярска (Россия), учитывает спрос на ЭЭС в разных районах города и их пропускную способность, однако при этом отсутствует анализ общего покрытия территории ЭЭС [4]. В ряде исследований для решения задач по оценке географической доступности ЭЭС с учетом дорожной сети предлагается полигональный подход к измерению этого показателя для максимально возможного числа электромобилей в пределах допустимых расстояний [5]. Пространственная оценка покрытия дорожной сети ЭЭС и сетевой анализ позволяют избежать наложения одних обслуживаемых зон на другие, что, в свою очередь, способствует оптимизации инфраструктуры [6]. Данный подход помогает избежать диспропорций в размещении ЭЭС, декластеризовать пространство и снизить излишние расходы на установку ЭЭС в уже покрытых зонах [7].

Анализ состояния и перспектив развития инфраструктуры электромобилей показал, что одним из основных сдерживающих факторов роста рынка электромобилей является отсутствие инфраструктуры, необходимой для их эксплуатации [8]. Данный факт частично актуален и для Республики Беларусь, хотя в последнее время изначальный недостаток инфраструктуры ЭЭС компенсируется выходом на рынок новых игроков.

По данным существующих исследований, в Республике Беларусь отмечают перспективность и целесообразность развития электротранспорта как процесса, сопровождаемого экономическими, экологическими и энергетическими преимуществами [9]. Подобная инфраструктура способна стать частью единой умной транспортной системы, основанной на принципах больших данных [10]. Стоит сказать, что работа с такими массивами пространственно-временной информации невозможна без ГИС. Нехватка географических изысканий в данной области подтверждает необходимость проведения комплексного геоинформационного анализа и оценки экономико-географических особенностей развития инфраструктуры ЭЭС в Республике Беларусь.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами для исследования послужили картографические данные, находящиеся в открытом доступе, в том числе сведения информационного портала *PlugShare*¹¹, сайта производственного объединения (ПО) «Белоруснефть»¹² и поисково-информационной службы «Яндекс.Карты»¹³. Дополнительная статистическая и аналитическая информация была собрана с использованием базы данных Национального статистического комитета Республики Беларусь¹⁴, взята из опубликованных программ, связанных с развитием электротранспорта, и иных профильных информационных ресурсов, посвященных развитию рынка электромобилей и сети ЭЭС в Республике Беларусь¹⁵.

В основе предлагаемого алгоритма анализа обеспеченности дорожной сети ЭЭС лежат теория графов и сетевой анализ. Для выявления современной территориальной структуры сети ЭЭС была выбрана категория платных (коммерческих) ЭЭС из-за их наибольшей распространенности и доступности потребителю.

Для определения степени обеспеченности дорожной сети ЭЭС и выявления пространственных диспропорций в их размещении использовались методы сетевого анализа (для измерения параметров зон обслуживания ЭЭС и установления участков дорожной сети с недостаточным покрытием) и качественной оценки (по уровню обеспеченности ЭЭС в разрезе административных районов, а также

¹¹Карта зарядных станций [Электронный ресурс] // PlugShare. URL: <https://www.plugshare.com/ru> (дата обращения: 10.10.2023).

¹²Карта ЭЭС [Электронный ресурс] // Белоруснефть. URL: <https://azs.belorusneft.by/beloil-map/?lang=ru#> (дата обращения: 10.10.2023).

¹³Яндекс.Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.by/maps/157/minsk/?ll=27.561481%2C53.902496&z=12> (дата обращения: 10.10.2023).

¹⁴Экономическая статистика. Наличие транспортных средств (на конец года) [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=264588> (дата обращения: 10.10.2023).

¹⁵Угадаете, сколько электромобилей зарегистрировано в Беларуси? Подсказка: почти в 40 раз больше, чем два года назад [Электронный ресурс] // Онлайнер. URL: <https://auto.onliner.by/2022/11/23/skolko-elektromobilej-zaregistrirvano-v-belarusi-podskazka> (дата обращения: 10.10.2023).

на душу населения). В модуле *ArcMap* ГИС-среды *ArcGIS* (версия 10.7) была задана полигональная граница зон покрытия ЭЭС, равная 50 км (данное расстояние обосновано практикой установки ЭЭС ПО «Белоруснефть» и положениями Программы создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей), что позволило вычислить зону влияния каждой ЭЭС с учетом конфигурации дорожной сети страны. Присвоение атрибутов ЭЭС (количества, типа) по административным районам производилось с помощью инструмента *соединение данных*. К слою «Районы» был присоединен слой «ЭЭС» с учетом геопространственной привязки. К полигонам добавлялись точки, при этом каждому полигону присваивалось суммарное значение числовых атрибутов точек, попавших внутрь полигона.

Дороги вне зоны покрытия ЭЭС были отнесены к участкам с недостаточной обеспеченностью (дефицитом) инфраструктурой ЭЭС. На основании информации о протяженности дорог данного типа оценивался уровень административных районов по доле дорог вне зоны влияния ЭЭС. Административные районы с долей дорог без ЭЭС менее 20 % имеют очень низкий уровень дефицита, с долей дорог без ЭЭС от 20 до 40 % – низкий уровень дефицита, с долей дорог без ЭЭС от 40 до 60 % – средний уровень дефицита, с долей дорог без ЭЭС от 60 до 80 % – высокий уровень дефицита, а с долей дорог без ЭЭС более 80 % – очень высокий уровень дефицита. Похожий принцип использовался при проведении анализа административных районов по обеспеченности ЭЭС на душу населения (с выделением методом геометрических интервалов очень низкого (менее 0,008), низкого (0,009–0,023), среднего (0,024–0,054), высокого (0,055–0,114) и очень высокого (более 0,115) уровней).

В основе рекомендаций по совершенствованию существующей сети ЭЭС лежит гипотеза о том, что целесообразнее размещать их в местах притяжения (вблизи банков, кафе и ресторанов, зон придорожного сервиса, магазинов и гостиниц) вдоль дорожной сети. Для выделения необходимых объектов применялись данные из открытых источников – картографической базы *OpenStreetMap*¹⁶, которые типизировались по приведенным категориям, после чего выбирались объекты, находящиеся на удалении от основных дорог менее чем на 50 м.

Методическими ограничениями выступают динамическая ситуация с введением в эксплуатацию ЭЭС (появление новых игроков на рынке усложняет своевременный сбор и систематизацию актуальной пространственной информации), неполная статистика по количеству электромобилей, находящихся в личной собственности граждан, в разрезе административных районов (такие данные позволили бы лучше оценить обеспеченность парка электромобилей инфраструктурой). Перспективным направлением исследования по данной теме может также служить изучение оптимальной обеспеченности ЭЭС в контексте демографии (численности и плотности населения) городских пространств.

Результаты и их обсуждение

Расширение использования электротранспорта в Республике Беларусь требует развития сопутствующей инфраструктуры. Так, в 2017 г. на территории страны находилось 17 ЭЭС, а в 2022 г. – более 600 ЭЭС, ориентировочно рассчитанных на обслуживание 25 тыс. электромобилей. В июле 2023 г. насчитывалось около 900 публичных ЭЭС (порядка 430 ЭЭС типа DC мощностью от 50 до 172 кВт и 470 ЭЭС типа AC мощностью от 22 до 44 кВт). Подавляющая часть ЭЭС представлена национальной сетью *Malanka*, оператором которой выступает ПО «Белоруснефть» (рис. 2).

Другим государственным оператором инфраструктуры ЭЭС является ОАО «Витязь», наладившее собственное производство ЭЭС. Республиканское унитарное предприятие «Белтелеком» реализует под брендом *Evika!* пилотный проект по установке 15 ЭЭС. В октябре 2023 г. в Колодищах (Минский район) состоялось открытие ЭЭС новой сети *SKAT* от ОАО «Белсельэлектросетьстрой». Проявляют интерес к устройству быстрых ЭЭС и иные предприятия белорусской энергосистемы¹⁷. В целом к 2030 г. в государственной зарядной сети планируется создать 1304 ЭЭС с расстоянием 50–70 км между ними, в том числе 25 супербыстрых ЭЭС.

В Республике Беларусь существуют три основных типа ЭЭС: 1) ЭЭС общего пользования, которые обслуживаются различными операторами; 2) домашние ЭЭС; 3) ЭЭС, состоящие в собственности коммерческих заведений. Наибольшее количество домашних ЭЭС сконцентрировано в г. Минске. Поскольку такие станции находятся в частной собственности физических лиц и доступ к ним для массового пользователя невозможен, они не влияют на целостную инфраструктуру, в связи с чем домашние ЭЭС были исключены из дальнейшего анализа. В данном исследовании акцент был сделан на ЭЭС первого и третьего типов.

¹⁶OpenStreetMap [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=7/54.005/26.735&layers=T> (дата обращения: 10.10.2023).

¹⁷Рост продаж электромобилей [Электронный ресурс] // *Ezpravka*. URL: <https://ev-charge.by/> (дата обращения: 10.10.2023).



Рис. 2. ЭЗС бренда *Malanka* (оператор – ПО «Белоруснефть»)
Fig. 2. EVCS of brand *Malanka* (operated by production association «Belorusneft»)

На базе сведений о местоположении и категории ЭЗС была построена ГИС-модель их пространственного распределения в Республике Беларусь. На карте размещена 431 ЭЗС, которая включает в себя от одного до шести зарядных мест. На основании слоев административно-территориального деления страны была скомпонована карта, отображающая географию ЭЗС по категориям (рис. 3).

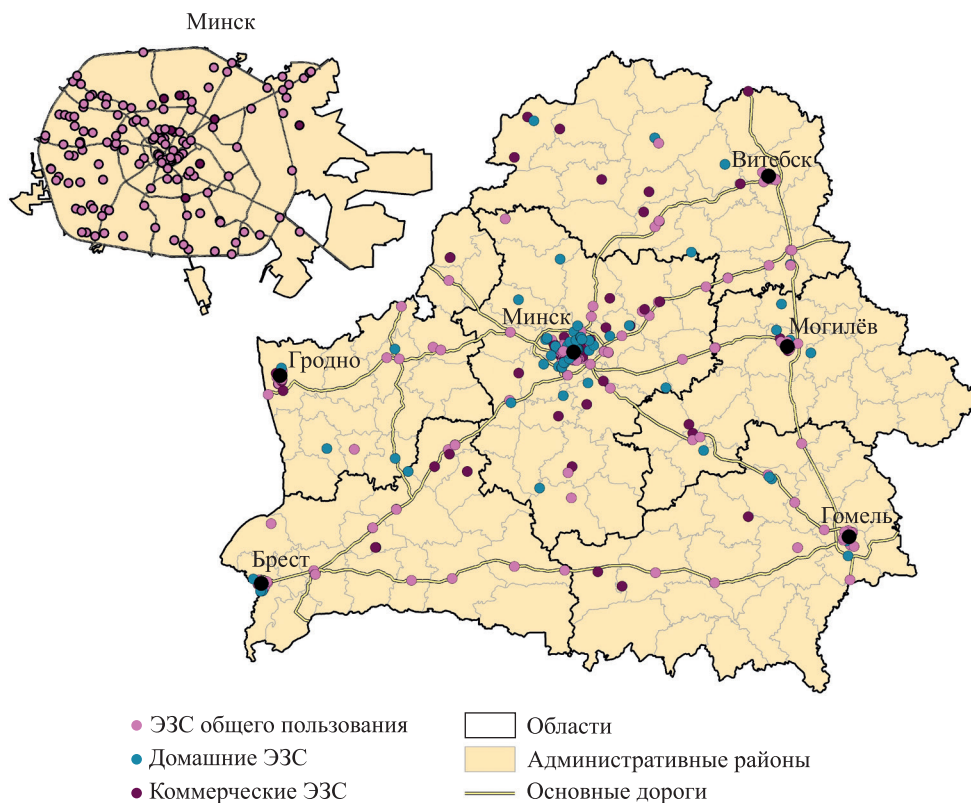


Рис. 3. География ЭЗС в Республике Беларусь по категориям в 2021 г.
(составлено по данным информационного портала *PlugShare*, сайта ПО «Белоруснефть»
и поисково-информационной службы «Яндекс.Карты»)
Fig. 3. Geography of EVCS in the Republic of Belarus by categories in 2021
(compiled according to information portal *PlugShare*, website of production association «Belorusneft»
and search and information services *Yandex.Maps* data)

В 2021 г. наблюдалось неоднородное распределение ЭЗС в разрезе областей и административных районов Республики Беларусь (рис. 4).

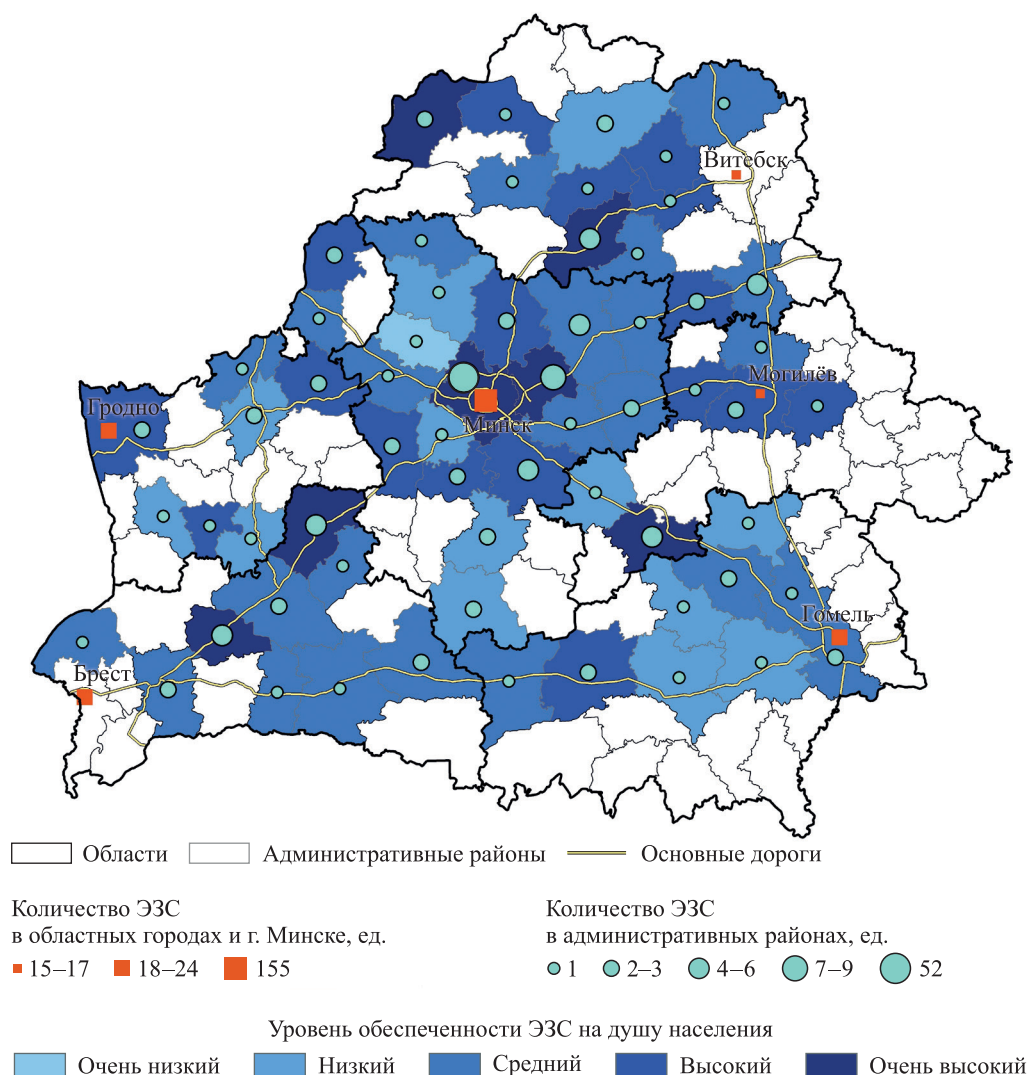


Рис. 4. Пространственная структура ЭЗС в Республике Беларусь в 2021 г.
(составлено по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь)

Fig. 4. Spatial structure of EVCS in the Republic of Belarus in 2021
(compiled according to the Statistical Committee of the Republic of Belarus data)

Наиболее обеспеченные ЭЗС административные районы (без учета ЭЗС в областных центрах) географически приурочены к основным транспортным магистралям Республики Беларусь, в частности к международным транспортно-коммуникационным коридорам (№ 2, 9, 9В (ответвление от коридора № 9)). Исключением выступили Жабинковский, Несвижский, Дубровенский районы (коридор № 2), Быховский, Сенненский районы (коридор № 9), а также Сморгонский район (коридор № 9В). Необходимо отметить отсутствие ЭЗС на значительной части территории Могилёвской области, а также в южных приграничных районах Гомельской области и северных приграничных районах Витебской области (30 приграничных районов из 43 не имеют ни одной ЭЗС). В ранге областных центров можно обратить внимание на г. Гомель как на второй по численности населения город страны, располагающий при этом только 21 ЭЗС – меньшим количеством, чем в городах Гродно и Брест (24 и 23 ЭЗС соответственно).

В разрезе областей Республики Беларусь лидирующее место по обеспеченности ЭЗС занимает Минская область (246 ЭЗС), включая г. Минск (155 ЭЗС, или 63 %). Большое значение этого показателя в столице страны объясняется существенным демографическим (численность населения) и экономическим (уровень доходов) потенциалом города, обуславливающим высокий спрос на электромобили. Остальные ЭЗС неравномерно распределены по территории Минской области, причем преимущественно они концентрируются в Минском (52 ЭЗС) и Смолевичском (9 ЭЗС) районах. От 3 до 5 ЭЗС располагаются в Логойском, Борисовском, Марьиногорском и Столбцовском районах. В 11 административных районах имеется не более 2 ЭЗС. Административные районы северной и центральной частей области

обеспечены ЭЗС, а в ее южной части (Несвижском, Клецком, Копыльском, Любанском и Стародорожском районах) они отсутствуют.

Второй по количеству ЭЗС является Брестская область, где расположены 44 ЭЗС, 23 из которых находятся в областном центре (52 %). Остальные ЭЗС распределены по административным районам: Барановичскому (6 ЭЗС), Березовскому (4 ЭЗС), Кобринскому (3 ЭЗС), Лунинецкому, Ивацевичскому (по 2 ЭЗС), Каменецкому, Ляховичскому, Пинскому и Ивановскому (по 1 ЭЗС). В Брестской области 44 % административных районов, в том числе Брестский (ЭЗС г. Бреста как областного центра отнесены в отдельный ранг), Жабинковский, Пружанский, Малоритский, Дрогичинский, Столинский и Ганцевичский районы, не обеспечены ЭЗС.

В Витебской области расположена 41 ЭЗС, из них 17 ЭЗС находятся в г. Витебске (41 %). Оставшиеся ЭЗС распределены по административным районам: Оршанскому, Лепельскому (по 5 ЭЗС), Браславскому (3 ЭЗС), Толочинскому, Полоцкому (по 2 ЭЗС), Бешенковичскому, Глубокскому, Городокскому, Миорскому, Ушачскому, Чашникскому и Шумилинскому (по 1 ЭЗС). В 38 % административных районов, включая Бешенковичский, Верхнедвинский, Витебский (ЭЗС г. Витебска как областного центра отнесены в отдельный ранг), Докшицкий, Лиозненский, Поставский, Россонский и Сенненский районы, ЭЗС отсутствуют.

В Гродненской области расположены 39 ЭЗС, 24 из которых находятся в г. Гродно (61 %). Оставшиеся ЭЗС распределены по административным районам: Гродненскому, Лидскому (по 3 ЭЗС), Ивьевскому, Островецкому (по 2 ЭЗС), Волковысскому, Вороновскому, Зельвенскому, Ошмянскому, Слонимскому (по 1 ЭЗС). В 47 % административных районов, в том числе в Берестовицком, Дятловском, Кореличском, Мостовском, Новогрудском, Свислочском, Сморгонском и Щучинском районах, ЭЗС отсутствуют.

В Гомельской области расположены 35 ЭЗС, из них 21 ЭЗС находится в г. Гомеле (60 %). Остальные ЭЗС распределены по административным районам: Гомельскому (4 ЭЗС), Жлобинскому (3 ЭЗС), Петриковскому (2 ЭЗС), Буда-Кошелевскому, Житковичскому, Калинковичскому, Речицкому, Рогачевскому, Светлогорскому (по 1 ЭЗС). В 57 % административных районов, включая Брагинский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Кормянский, Лельчицкий, Лоевский, Мозырский, Наровлянский, Октябрьский, Хойникский и Чечерский районы, ЭЗС отсутствуют.

Самое малое количество ЭЗС в разрезе областей приходится на Могилёвскую область, где расположены 26 ЭЗС, из которых 17 ЭЗС находятся в черте г. Могилёва (57 %). Оставшиеся ЭЗС неравномерно распределены по административным районам: Бобруйскому (4 ЭЗС), Бельничскому, Могилёвскому, Осиповичскому, Чаусскому и Шкловскому (по 1 ЭЗС). В 71 % административных районов, в том числе в Быховском, Глусском, Горецком, Дрибинском, Кировском, Климовичском, Кличевском, Костюковичском, Краснопольском, Кричевском, Круглянском, Мстиславском, Славгородском, Хотимском и Чериковском районах, ЭЗС отсутствуют.

Общей характерной чертой пространственного размещения ЭЗС в административных районах областных центров Брестской и Витебской областей является отсутствие ЭЗС вблизи крупных городов, основных центров социально-экономического притяжения. Этот факт частично можно объяснить небольшой численностью городского населения (1200 и 1400 человек соответственно¹⁸), достаточно низким уровнем доходов и невысоким спросом на электромобили, результатом чего выступает незначительная потенциальная вероятность пользования инфраструктурой ЭЗС.

Таким образом, анализ географии размещения ЭЗС в Республике Беларусь позволяет сделать вывод о том, что 55 административных районов из 118 (47 %) не имеют ни одной ЭЗС, причем основная часть ЭЗС расположена в Минской области либо приурочена к главным транспортным магистралям страны. Наименее обеспеченной ЭЗС является Могилёвская область.

Целесообразно проведение анализа обеспеченности административных районов ЭЗС на душу населения с последующим выделением их групп по данному показателю. В этом отношении лидируют административные районы с высоким демографическим потенциалом (численность населения определяет потенциальное количество потребителей, которые используют электромобили и создают спрос на инфраструктуру ЭЗС), а именно Минский, Барановичский, Бобруйский, Гродненский районы и др. Некоторые из них приурочены к транспортным коридорам.

Для выделения административных районов, где, возможно, существует необходимость в пространственно сбалансированном размещении ЭЗС, были определены участки дорожной сети, не покрытые зоной обслуживания ЭЗС (рис. 5). Во внимание принято то, что через 17 административных районов из 55 проходят магистрали, где повышенный автомобильный поток подразумевает наличие как минимум 2 ЭЗС.

¹⁸Перепись населения [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/perepis-naseleniya/> (дата обращения: 10.10.2023).

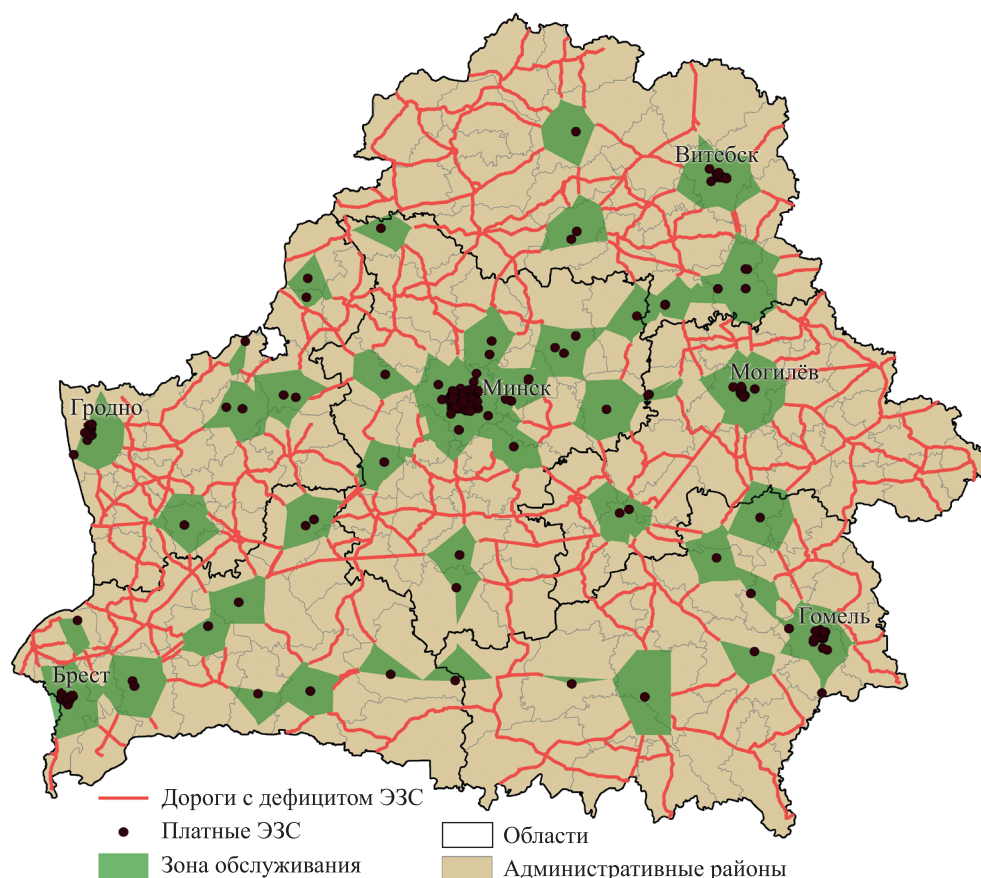


Рис. 5. Зоны обслуживания ЭЭС в Республике Беларусь в 2021 г.
(составлено по данным сайта ПО «Белоруснефть»)

Fig. 5. EVCS service areas the Republic of Belarus in 2021
(compiled according to website of production association «Belorusneft» data)

Наиболее покрытым участком сети основных автомобильных дорог Республики Беларусь для комфортного передвижения на электромобиле является участок № 2 трансъевропейского транспортного коридора E30 Брест – Минск – граница Российской Федерации (магистраль М1). При этом участок данной дороги от г. Минска до г. Орши имеет полное покрытие зонами обслуживания ЭЭС. Менее эффективны участки магистралей М3, М8 и М11, где ЭЭС располагаются только в крупных городах и отсутствуют вдоль дорог.

При определении суммарного расстояния, на котором необходимо размещать ЭЭС, была рассчитана доля дорог с дефицитом ЭЭС (рис. 6).

Установлено, что из общей протяженности основных автомобильных дорог Республики Беларусь, взятых для анализа, доля участков дорог с дефицитом ЭЭС составляла около 55 %. Согласно Программе создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей для достижения полной обеспеченности дорог необходимо построить более 200 ЭЭС на расстоянии 50 км друг от друга. Данный план должен быть реализован к 2030 г.

При выделении административных районов по доле протяженности дорог с дефицитом ЭЭС от общей протяженности основных дорог было выявлено, что 72 административных района из 118 имеют высокий и очень высокий уровень дефицита, 8 административных районов – средний уровень дефицита и 38 административных районов – низкий и очень низкий уровень дефицита. Наиболее выраженным дефицитом отличаются Витебская и Могилёвская области (15 и 17 административных районов с высоким и очень высоким уровнем дефицита соответственно). Интерес представляет Брагский район с высоким уровнем дефицита, где располагается Национальный парк «Браславские озера», который выступает одним из основных центров притяжения для туристов.

Результаты данного анализа частично дополнили и подтвердили существующие исследования автомобильного транспорта Беларуси¹⁹, что позволяет сделать вывод о частичной зависимости обеспеченности

¹⁹Безрученко А. П. Территориальная структура и совершенствование сети дорог автомобильного транспорта Республики Беларусь : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.23.02. Минск, 2017. 23 с.

ЭЗС от особенностей конфигурации сети основных автомобильных дорог и развитости автотранспорта. Так, большинство административных районов с дефицитом ЭЗС (Пружанский, Свислочский, Новогрудский, Браславский, Россонский, Ушачский, Мстиславский, Костюковичский, Брагинский, Столинский районы и др.) относятся к периферийным районам с низкой обеспеченностью транспортной сетью и продуктивностью автотранспорта. Они имеют незначительный экономико-демографический потенциал, неспособный на создание существенного спроса и предложения на услуги автотранспорта. Однако стоит отметить Мозырский и Пинский районы, относящиеся к центральным районам с высокой обеспеченностью транспортной сетью и продуктивностью автотранспорта и при этом имеющие средний уровень дефицита ЭЗС. Остальные административные районы данной типологической группы соответствуют районам с низким и очень низким уровнем дефицита ЭЗС. Также присутствуют административные районы полупериферийного типа в зоне влияния транспортно-коммуникационных магистралей с высокой обеспеченностью транспортной сетью и средней продуктивностью автотранспорта, но с высоким (Шкловский, Житковичский и Городокский районы) и очень высоким (Быховский, Славгородский, Сморгонский районы) уровнем дефицита ЭЗС. По нашему мнению, они должны занимать приоритетное место в очередности развития инфраструктуры ЭЗС.

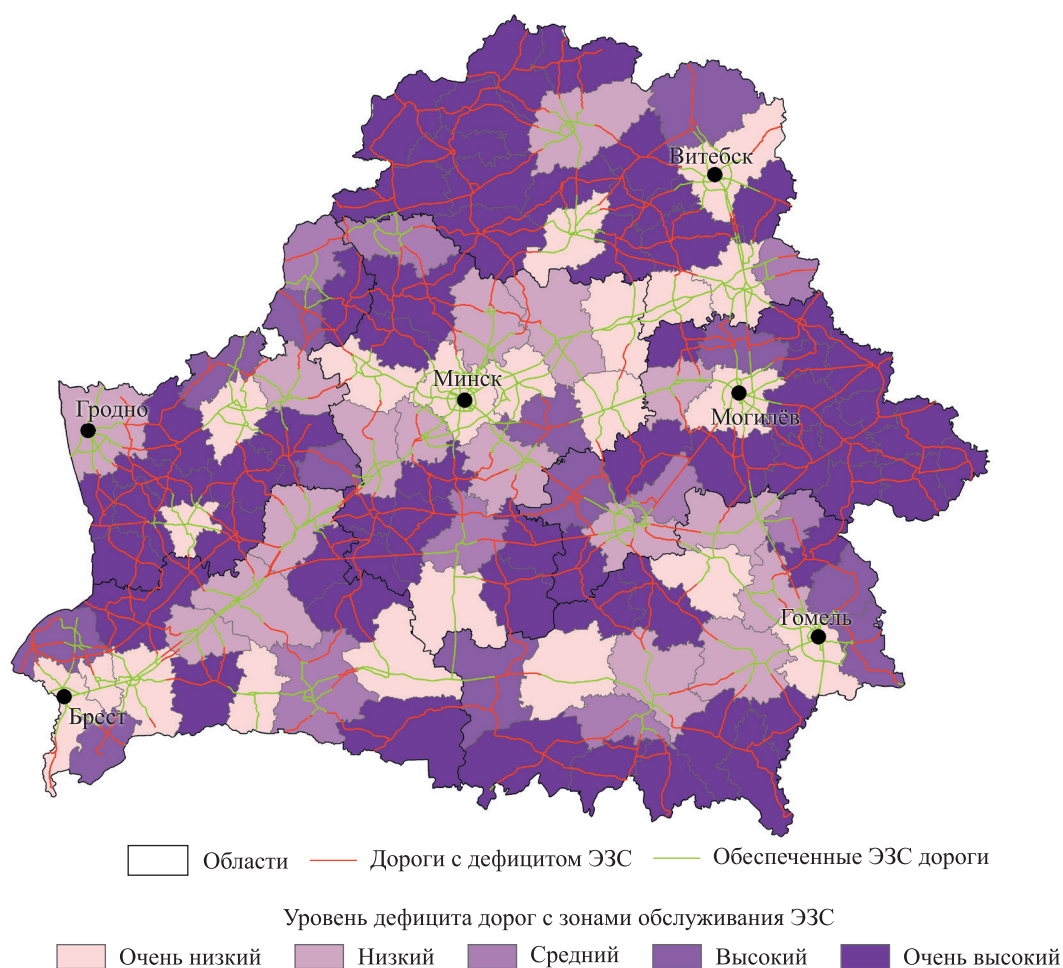


Рис. 6. Распределение административных районов Республики Беларусь по уровню дефицита дорог с зонами обслуживания ЭЗС в 2021 г. (составлено по данным сайта ПО «Белоруснефть»)

Fig. 6. Distribution of administrative districts of the Republic of Belarus by level of road deficit with EVCS service areas in 2021 (compiled according to website of production association «Belorusneft» data)

Для решения вопроса о недостаточной обеспеченности территории страны ЭЗС возможна их установка на участках дорог с дефицитом ЭЗС, однако с уже имеющейся придорожной инфраструктурой (рис. 7). К таким локациям можно отнести кафе и рестораны, магазины, гостиницы, банки, зоны придорожного сервиса (мойки, стоянки, парки) и др.

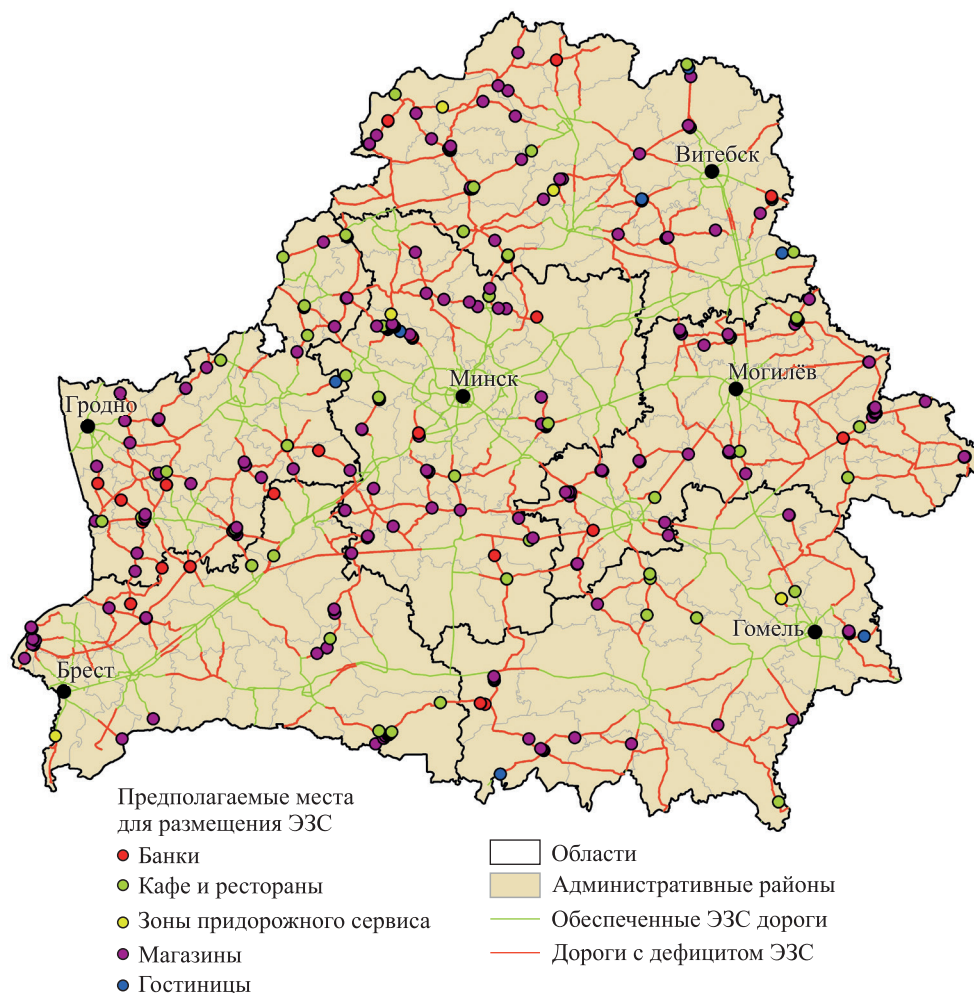


Рис. 7. Потенциальные центры притяжения для размещения ЭЗС в Республике Беларусь (составлено по данным картографической базы *OpenStreetMap*)

Fig. 7. Potential attraction centres for EVCS installation the Republic of Belarus (compiled according to cartographic database *OpenStreetMap* data)

Размещение ЭЗС в таких локациях может быть целесообразным с экономической точки зрения, поскольку их установка вблизи существующей инфраструктуры должна обходиться дешевле, чем новое строительство. Выделяется ряд административных районов, где имеется значительное количество объектов придорожной инфраструктуры, но при этом наблюдается высокий уровень дефицита ЭЗС (Молодечненский, Браславский, Мостовский, Волковысский районы и др.). Такая дифференциация позволяет вычлнить территории с уже имеющейся инфраструктурой для установки в них ЭЗС в первую очередь и территории без нее для установки ЭЗС во вторую очередь. Тем не менее для оценки экономической эффективности размещения ЭЗС необходим анализ потенциального автомобильного трафика, что выступает интересным объектом дальнейших географических исследований по данному направлению.

Заклучение

Анализ рынка электромобилей в Республике Беларусь показал наличие растущего спроса на персональный электротранспорт. Так, за 2021–2022 гг. количество электромобилей увеличилось с 1600 до 3635 ед., обеспечив прирост более 127 %, а их доля в общей структуре повысилась с 0,05 до 0,12 %. Расширение использования электротранспорта в стране привело к развитию сопутствующей инфраструктуры. Если в 2017 г. на территории Республики Беларусь находилось 17 ЭЗС, то в июле 2023 г. насчитывалось уже около 900 публичных ЭЗС.

В ходе проведенного исследования был разработан методический алгоритм географического анализа современной территориальной структуры сети ЭЗС, позволивший установить, что в Республике Беларусь 47 % административных районов не имеют ни одной ЭЗС. Этот факт определяет необходимость

оценки потенциала пространственно сбалансированного размещения ЭЗС в данных районах, для чего были выявлены участки дорожной сети, не покрытые ЭЗС, в том числе с существующей придорожной инфраструктурой, способной выступать центром притяжения для автомобилистов.

Исходя из географии зон обслуживания имеющихся ЭЗС, наиболее обеспеченным участком является трансъевропейский транспортный коридор № 2 (Е30), проходящий по маршруту Брест – Минск – граница Российской Федерации (магистраль М1). При этом только участок дороги от г. Минска до г. Орши имеет полное покрытие зонами обслуживания ЭЗС. Менее эффективны участки магистралей М3, М8 и М11, где зарядные станции располагаются только в крупных городах и отсутствуют на межселенных территориях.

При определении суммарного расстояния, на котором необходимо размещать ЭЗС, рассчитано, что для полного покрытия всех основных автомобильных дорог в стране необходимо установить более 200 ЭЗС с учетом норматива 1 ЭЗС на 50 км. Оценка административных районов по уровню дефицита покрытия зонами обслуживания ЭЗС выявила, что 72 административных района из 118 имеют высокий и очень высокий уровень дефицита, 8 административных районов – средний уровень дефицита и 38 административных районов – низкий и очень низкий уровень дефицита. Их сопоставление с типами административных районов и транспортных узлов Республики Беларусь по продуктивности автотранспорта позволило вычленить как совпадения, так и некоторые несоответствия в степени развитости сети, качестве работы автотранспорта и уровне дефицита ЭЗС.

Выявлены потенциальные локации для совершенствования территориальной организации инфраструктуры ЭЗС, основанные на их размещении в местах наличия придорожной инфраструктуры, что также позволяет выделить территории для установки ЭЗС в первую очередь (Молодечненский, Браславский, Мостовский, Волковысский районы и др.).

Дальнейшими направлениями исследований могут выступить отход от привязки обеспеченности ЭЗС к конфигурации сети и более четкая ориентация на демографический и социально-экономический потенциал территории возможного размещения инфраструктуры ЭЗС.

Библиографические ссылки

1. Miller JH. GIS and geometric representation in facility location problems. *International Journal of Geographical Information Systems*. 1996;10(7):791–816. DOI: 10.1080/02693799608902110.
2. Chen TD, Kockelman KM, Khan M. Locating electric vehicle charging stations: a parking-based assignment method for Seattle, Washington. *Transportation Research Record*. 2013;2385(1):28–36. DOI: 10.3141/2385-04.
3. Long Pan, Enjian Yao, Yang Yang, Rui Zhang. A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. *Sustainable Cities and Society*. 2020;59:102192. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102192.
4. Писарев ГА. Методы размещения зарядных станций электромобилей [диссертация]. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2019. 74 с.
5. Kai Huang K, Kanaroglou P, Xiaozhou Zhang. The design of electric vehicle charging network. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*. 2016;49:[17 p.]. DOI: 10.1016/j.trd.2016.08.028.
6. Ran Wei, Murray AT. Continuous space maximal coverage: insights, advances and challenges. *Computers & Operations Research*. 2015;62:325–336. DOI: 10.1016/j.cor.2014.04.010.
7. de Jong W, Vogels J, van Wijk K, Cazemier O. The key factors for providing successful public transport in low-density areas in The Netherlands. *Research in Transportation Business & Management*. 2011;2:65–73.
8. Асадов ДГ. Исследование состояния и перспективы развития инфраструктуры электромобилей. *Международный технико-экономический журнал*. 2011;5:132–135. EDN: ОРНМГР.
9. Мангул ДИ. Перспективы развития электрифицированного автотранспорта в Беларуси. В: Жуковская ТЕ, составитель. *Актуальные проблемы энергетики. Электроэнергетические системы и сети. Материалы 76-й научно-технической конференции студентов и аспирантов; апрель 2020 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Белорусский национальный технический университет; 2020. с. 125–130.
10. Лишик МВ. Формирование перспективной инновационной ситуации для электромобилей в Республике Беларусь. В: Белорусский национальный технический университет. *Материалы II Китайско-белорусского молодежного конкурса научно-исследовательских и инновационных проектов; 20–21 мая 2021 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Белорусский национальный технический университет; 2021. с. 219.

References

1. Miller JH. GIS and geometric representation in facility location problems. *International Journal of Geographical Information Systems*. 1996;10(7):791–816. DOI: 10.1080/02693799608902110.
2. Chen TD, Kockelman KM, Khan M. Locating electric vehicle charging stations: a parking-based assignment method for Seattle, Washington. *Transportation Research Record*. 2013;2385(1):28–36. DOI: 10.3141/2385-04.
3. Long Pan, Enjian Yao, Yang Yang, Rui Zhang. A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. *Sustainable Cities and Society*. 2020;59:102192. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102192.

4. Pisarev GA. *Metody razmeshcheniya zaryadnykh stantsii elektromobilei* [Methods for placing electric vehicle charging stations] [dissertation]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2019. 74 p. Russian.
5. Kai Huang K, Kanaroglou P, Xiaozhou Zhang. The design of electric vehicle charging network. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*. 2016;49:[17 p.]. DOI: 10.1016/j.trd.2016.08.028.
6. Ran Wei, Murray AT. Continuous space maximal coverage: insights, advances and challenges. *Computers & Operations Research*. 2015;62:325–336. DOI: 10.1016/j.cor.2014.04.010.
7. de Jong W, Vogels J, van Wijk K, Cazemier O. The key factors for providing successful public transport in low-density areas in The Netherlands. *Research in Transportation Business & Management*. 2011;2:65–73.
8. Asadov DG. Analyzing state and development prospects of electric vehicle infrastructure. *International Technical and Economic Journal*. 2011;5:132–135. Russian. EDN: OPHMGP.
9. Mangul DI. [Prospects for the development of electrified vehicles in Belarus]. In: Zhukovskaya TE, compiler. *Aktual'nye problemy energetiki. Elektroenergeticheskie sistemy i seti. Materialy 76-i nauchno-tehnicheskoi konferentsii studentov i aspirantov; aprel' 2020 g.; Minsk, Belarus'* [Current problems of energy. Electric power systems and networks. Proceedings of the 76th scientific and technical conference of undergraduate and graduate students; 2020 April; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian National Technical University; 2020. p. 125–130. Russian.
10. Lishik MV. [Formation of a promising innovative situation for electric vehicles in the Republic of Belarus]. In: Belarusian National Technical University. *Materialy II Kitaisko-belorusskogo molodezhnogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh i innovatsionnykh proektov; 20–21 maya 2021 g.; Minsk, Belarus'* [Proceedings of the 2nd Chinese-Belarusian youth competition of research and innovation projects; 2021 May 20–21; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian National Technical University; 2021. p. 219. Russian.

Получена 15.12.2023 / исправлена 15.02.2024 / принята 29.02.2024.
Received 15.12.2023 / revised 15.02.2024 / accepted 29.02.2024.