

Научная статья

УДК 621.3

ББК 31.2

P 17

DOI: 10.53598/2410-3225-2023-3-326-81-88

Разработка модуля размещения зарядных станций для электротранспорта на основе использования геоинформационных систем

(Рецензирована)

Павел Юрьевич Бучацкий¹, Семен Васильевич Теплоухов²,
Стефан Владимирович Онищенко³, Тимофей Юрьевич Бычков⁴,
Михаил Тимурович Михальцов⁵, Анастасия Николаевна Лисова⁶,
Ольга Игоревна Макаренко⁷

¹⁻⁶ Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

⁷ Майкопский государственный гуманитарно-технический колледж, Майкоп,
Россия, foisems@mail.ru

¹ buch@adygnet.ru

² tepl_sv@adygnet.ru

³ osv@adygnet.ru

⁴ bychkov.timof@gmail.com

⁵ stefan.onishchenko@mail.ru

⁶ fox_14_n@mail.ru

Аннотация. В настоящее время во всем мире наблюдается активное развитие электротранспорта с целью замены традиционных транспортных средств на основе использования двигателей внутреннего сгорания, которые оказывают вредное воздействие на окружающую среду посредством выбросов продуктов сгорания углеводородного топлива. Широкое распространение получают современные электромобили, общественный транспорт на основе использования электродвигателей и малые индивидуальные электротранспортные средства. Однако данный процесс порождает необходимость реализации специализированных зарядных станций, поскольку устройства обладают ограниченной емкостью накопителей энергии и нуждаются в их зарядке. В городских условиях данная задача имеет ряд трудностей, обусловленных необходимостью нахождения наиболее оптимального расположения станций на дорожной сетке в зависимости от частоты использования маршрутов, доли электротранспорта и учета времени заряда батарей, но повсеместное наличие линий электропередач позволяет рассмотреть больше возможных вариантов при реализации подобных сетей снабжения. Несколько иная ситуация складывается при рассмотрении подобной задачи в условиях сельской или вовсе труднопроходимой местности (например, горные курорты или заповедные территории), где в качестве дополнительных сложностей возникают факторы более пересеченного рельефа по сравнению с городской инфраструктурой и возможное отсутствие линий электропередач, в результате чего одним из решений может стать использование местных источников энергии в виде возобновляемых источников энергии (ВИЭ), необходимых для обеспечения работы зарядного комплекса. В связи с этим в данной работе предлагается рассмотреть процесс разработки модуля размещения зарядных станций в условиях пересеченной местности на основе использования геоинформационных систем.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), зарядные станции, электротранспорт, возобновляемые источники энергии

Original Research Paper

The development of a geoinformation system-based module for the placement of charging stations in the context of electric transportation

Pavel Yu. Buchatskiy¹, Semen V. Teploukhov², Stefan V. Onishchenko³,
Timofey Yu. Bychkov⁴, Mikhail T. Mikhaltsov⁵,
Anastasiya N. Lisova⁶, Olga I. Makarenko⁷

¹⁻⁶ Adyghe State University, Maikop, Russia

⁷ Maikop State Humanitarian and Technical College, Maikop, Russia, foisems@mail.ru

¹ buch@adygnet.ru

² tepl_sv@adygnet.ru
³ osv@adygnet.ru
⁴ bychkov.timof@gmail.com
⁵ stefan.onishchenko@mail.ru
⁶ fox_14_n@mail.ru

Abstract. Currently, there is global effort towards the development of electric transport as a replacement for traditional vehicles powered by internal combustion engines, which have a harmful effect on the environment due to carbon emissions from fuel combustion. Modern electric vehicles, electric-powered public transportation, and personal electric vehicles are being widely adopted. However, this process creates the need to implement specialized charging stations, since the devices have a limited capacity of energy storage and require regular charging. In urban areas, this task presents several challenges due to the need for optimal placement of charging stations within the road network. Factors such as route usage frequency, the proportion of electric vehicles, and battery charging time must be taken into consideration. Fortunately, the availability of power lines in urban environments provides numerous possibilities for the establishment of charging networks. However, the situation becomes more complex in rural or inaccessible terrains, such as mountain resorts or protected areas. In these areas, more difficulties arise due to rough terrain and the possible absence of power lines. Consequently, one potential solution is to utilize local renewable energy sources to power charging complexes. This paper proposes the development of a geoinformation system-based module for locating charging stations in rough terrains.

Keywords: geoinformation systems (GIS), charging stations, electric transport, renewable energy sources

Введение

В последние годы во всем мировом сообществе все чаще говорят о необходимости значительного сокращения выбросов углекислого газа в атмосферу, для чего многие государства проводят политику декарбонизации, направленную на трансформацию энергетического сектора, с целью снижения доли традиционной углеродной энергетики [1] и замены ее на более экологичные виды энергии, например, возобновляемые источники [2].

Исходя из данных статистики, можно отметить, что наиболее развитые страны, активно внедряющие декарбонизацию в энергетический сектор, смогли не только остановить рост объемов вредных выбросов, но и сократить его, что представлено на рисунке 1 [3].

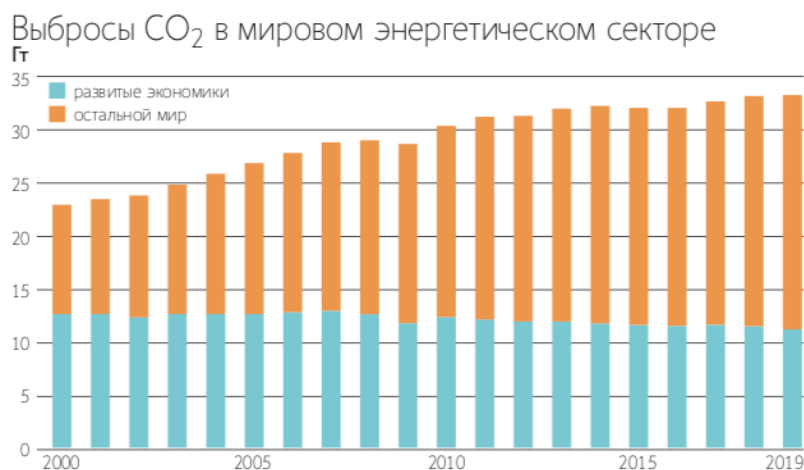


Рис. 1. Объемы выбросов углекислого газа в мировом энергетическом секторе

Fig. 1. Carbon dioxide emissions in the global energy sector

При этом очень большой процент выброса углекислого газа приходится именно на автомобильный транспорт: так, по различным данным [4], в США транспортный сектор занимает лидирующие позиции по объему выбросов, которые составляют порядка 28% от общего объема, тогда как в среднем по миру эта цифра немногим меньше

рядка 28% от общего объема, тогда как в среднем по миру эта цифра немногим меньше и лежит в пределах 23-25% от общего объема выбросов парниковых газов. На фоне этого все более остро поднимается вопрос о возможности сокращения выбросов от автомобилей, число которых неукротимо растет [5].

Одним из возможных решений этой проблемы является использования электро-транспорта, который имеет более низкие эксплуатационные расходы по сравнению с двигателями внутреннего сгорания [6], а наибольшая эффективность может быть достигнута за счет совместной интеграции с возобновляемыми источниками энергии, используемыми в качестве основных средств генерации электричества. Основными сложностями в процессе внедрения электроавтомобилей является их высокая стоимость и слаборазвитая инфраструктура зарядных станций, необходимых для успешного использования электротранспорта. Несколько по-иному обстоит дело с малым электротранспортом, поскольку его эксплуатация не подразумевает наличия специализированных зарядных станций, и пользователь может зарядить устройство в домашних условиях от бытовой сети.

Множество исследований [7-9] сконцентрировано на решение проблем, связанных с внедрением электротранспорта в условиях городской среды, где необходимо учитывать факторы мощности, баланс сети, отслеживать возникающие колебания и искажения, а также учитывать фактор времени зарядки транспорта, который должен быть сведен к минимуму [10].

В данной работе рассматривается модуль для определения мест установки зарядных станций малого электротранспорта в условиях сельской и труднопроходимой местности (например, туристические маршруты в горной местности).

Материалы и методы

Расстановка зарядных станций в сельских или труднодоступных районах несколько отличается от этого процесса в условиях городской среды. Во-первых, в данных условиях не всегда имеется доступ к линиям электропередач, и не всегда имеется возможность осуществить их подвод, особенно если речь идет о горных и природоохранных территориях, где актуальность использования электротранспорта повышается, поскольку использование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является нежелательным фактором, в силу их малой экологичности [11]. Вторым фактором является необходимость учета рельефа, который может быть более пересеченным, чем в городских условиях.

Для реализации подобного модуля необходимо использовать геоинформационные системы, позволяющие получить доступ к необходимым для расчетов пространственным данным и осуществить визуализацию расположения точек для потенциального размещения зарядных станций [12]. В качестве среды реализации был выбран язык программирования Python, и была осуществлена интеграция со свободной географической информационной системой с открытым кодом QGIS (<https://www.qgis.org/ru/site/>). В результате был получен самостоятельный модуль, загружаемый в рабочее пространство QGIS, где после загрузки исходных данных пользователь уже может получить конечный результат.

В качестве входных данных использовался shapefile («шейп-файл») (рис. 2), хранящий карту дорог и маршрутов, которые потенциально рассматриваются в качестве сети для установки зарядных станций.

Используя подобный файл с картой дорожной сети интересующей местности, можно за счет использования геоинформационной системы получить доступ к координатам точек, лежащих на рассматриваемом маршруте, что необходимо для вычисления расстояния [13].



Рис. 2. Shapefile с картой дорог, на которых необходимо разместить зарядные станции
Fig. 2. Shapefile with a map of roads where charging stations need to be placed

Однако данный тип файла чаще всего хранит две пространственные координаты, в результате чего, используя только его, не представляется возможным учесть третью координату, необходимую для определения изменения высоты рассматриваемого маршрута. Для решения этой проблемы необходимо использовать дополнительный набор данных – карту высот в растровом формате sgrd [14], изображенную на рисунке 3.

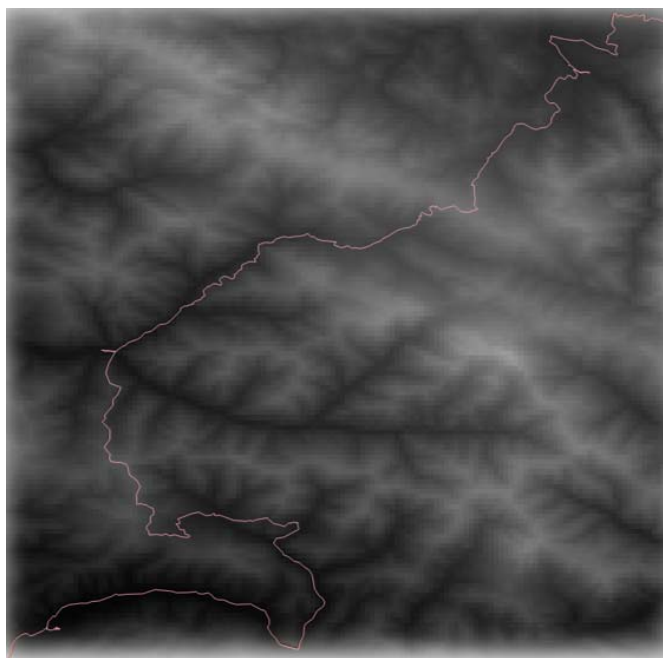


Рис. 3. Карта высот с наложенным shape-файлом
Fig. 3. Heightmap with shapefile overlay

Таким образом, формируется следующая последовательность действий при работе модуля:

- загрузка файла с дорожной сетью;
- выбор карты высот для соответствующего участка местности;
- получение трех пространственных координат из наборов данных;
- вычисление расстояний;
- расстановка точек в местах предполагаемого размещения зарядных станций в зависимости от заданного расстояния хода электротранспорта;
- нанесение позиций на карту дорожной сети;

– формирование выходного файла с координатами мест предположительной установки зарядных станций.

После загрузки пользователем необходимых входных данных в работу включается скрипт на языке Python, первым делом устанавливающий взаимодействие со средой QGIS. Ниже приведен фрагмент кода, организующий подобное взаимодействие, необходимое для получения первоначальных пространственных данных.

```
def load_from_shp(self, filepath: str) -> bool:
    sf = shapefile.Reader(filepath)

    if sf.shapeType == shapefile.POLYLINE:
        print("Reading Shapefile: Meta-Data type is POLYLINE")
    elif sf.shapeType == shapefile.POLYLINEZ:
        print("Reading Shapefile: Meta-Data type is POLYLINEZ")
    else:
        print("Reading Shapefile: Meta-Data type must be POLYLINE or POLYLINEZ")
        return False
    print("number of features:", len(sf))
    print("bounding box area:", sf.bbox)

    er = 8
    dct = {}
    for shaperec in sf.iterShapeRecords():
        points = shaperec.shape.points
        for x, y in points:
            # x = round(x, er)
            # y = round(y, er)
            p = (x, y)
            if p in dct:
                nid = dct[p]
            else:
                nid = self.add_node(Node(Position(x, y, 0)))
                dct[p] = nid

        for shaperec in sf.iterShapeRecords():
            points = shaperec.shape.points
            lp = None
            for x, y in points:
                # x = round(x, er)
                # y = round(y, er)
                p = (x, y)
                if lp == None:
                    lp = p
                    continue
            else:
                self.add_edge(dct[lp], dct[p], 0)
                lp = p
    return True
```

Данная функция отвечает за соединение с платформой ГИС и получение необходимых данных, а именно координат точек из загруженного пользователем файла с дорожной сетью. По полученным координатам производится расчет расстояния, которое и используется как один из основных параметров при выборе места установки зарядной станции:

```
def add_edge(self, node_index_1: int, node_index_2: int, weight: float) -> None:
    if weight == 0:
        # weight =
self.node_by_index(node_index_1).position.distance_to(self.node_by_index(node_index_2).position)

        pos1 = self.node_by_index(node_index_1).position
        pos2 = self.node_by_index(node_index_2).position
        dist = pos1.distance_to(pos2)
        if self.__height_map_reader == None:
            weight = dist
        else:
            h = (self.__height_map_reader.get_h(pos2.x, pos2.y) -
self.__height_map_reader.get_h(pos1.x, pos1.y)) / 1000
            weight = math.sqrt(dist**2 + h**2)
        # self.__roadmap.add_edge(node_index_1, node_index_2, edge=edge)
self.__roadmap[node_index_1][1].append((node_index_2, weight))
self.__roadmap[node_index_2][1].append((node_index_1, weight))
```

После этого был реализован еще ряд методов, необходимых для проведения поиска места расположения станции, нанесения точки предполагаемого места установки на карту дорожной сети и для получения координат предположительных мест размещения в виде текстового файла, что представлено на рисунке 4.

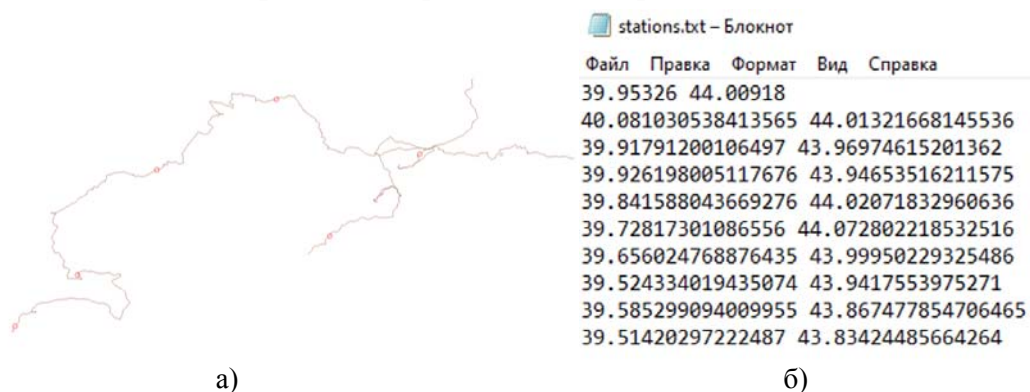


Рис. 4. Результаты работы модуля: а) в виде графического отображения;
 б) в виде текстового файла с координатами

Fig. 4. The results of the module: a) in the form of graphical display;
 b) in the form of a text file with coordinates

Заключение

В данной работе рассмотрен процесс разработки модуля расстановки зарядных станций с использованием двух платформ: языка высокого уровня Python, использование которого позволяет реализовать работу всего алгоритма, проводить обработку данных и необходимые вычисления и интеграцию с платформой геоинформационной системы QGIS, которая используется в качестве средства взаимодействия с пользователем и как интерфейс для получения графического представления работы модуля.

В результате был получен программный продукт, представляющий из себя самостоятельный скрипт, для работы которого необходимо произвести его подключение внутри среды QGIS (в виде пользовательского модуля). Данное решение ориентировано на использование в пересеченной местности, где в отличие от привычных городских условий важным фактором может послужить фактор наличия перепада высот, влияющий на общее расстояние маршрута, и как следствие – частоту установки зарядных станций.

Следующим этапом развития предлагаемого модуля является оптимизация алго-

ритма расстановки зарядных станций. Алгоритм должен учитывать еще один важный фактор – наличие или отсутствие возможности подключения к линиям электропередач. При отсутствии возможности подключения одним из альтернативных вариантов является использование возобновляемых источников энергии, успешная интеграция которых возможна после оценки эффективности применения ВИЭ в конкретных условиях. Это добавляет еще один фактор, который также необходимо учитывать в рамках работы алгоритма расстановки станций.

Примечания

1. Обзор моделей оценки и прогнозирования поступления солнечной энергии / В.С. Симанков, П.Ю. Бучацкий, С.В. Онищенко, С.В. Теплоухов // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 15–19 мая 2023 года*. Майкоп: ИП Кучеренко Вячеслав Олегович, 2023. Ч. 2. С. 167–174.

2. Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount / V. Simankov, P. Buchatskiy, S. Teploukhov [et al.] // *Energies*. 2023. No. 16. P. 5926. URL: <https://doi.org/10.3390/en16165926> (дата обращения: 13.08.2023).

3. Ведомости. Глобальные выбросы углекислого газа перестали расти в 2019 году. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/02/11/822790-vibrosi-co2-2019> (дата обращения: 17.08.2023).

4. The Impacts of Car-Free Days and Events on the Environment and Human Health / A. Glazener, J. Wylie, W. van Waas, H. Khreis // *Curr Environ Health Rep*. 2022. No. 9 (2). P. 165–182. DOI: 10.1007/s40572-022-00342-y

5. The Impact of Vehicle Ownership on Carbon Emissions in the Transportation Sector / L. Hou, Y. Wang, Y. Zheng, A. Zhang // *Sustainability*. 2022. No. 14. P. 12657. URL: <https://doi.org/10.3390/su141912657> (дата обращения: 7.08.2023).

6. Characterizing the motivational mechanism behind taxi driver's adoption of electric vehicles for living: Insights from China Transp / M. Zhou, P. Long, N. Kong [et al.] // *Res. A*. 2021. No. 144 (2). P. 134–152.

7. Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review / Ahmad Fareed, Iqbal Atif, Ashraf Imtiaz [et al.] // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 2314–2333. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2022.01.180> (дата обращения: 14.08.2023).

8. Liu J, Sun J, Qi X. Optimal Placement of Charging Stations in Road Networks: A Reinforcement Learning Approach with Attention Mechanism // *Applied Sciences*. 2023. No. 13 (14). P. 8473. URL: <https://doi.org/10.3390/app13148473> (дата обращения: 11.08.2023).

9. Phonrattanasak P., Leeprechanon N. Optimal placement of EV fast charging stations considering the impact on electrical distribution and traffic condition // 2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE). Pattaya, Thailand, 2014. P. 1–6.

10. Optimal placement of electric vehicle charging stations in the active distribution network / M.Z. Zeb, K. Imran, A. Khattak [et al.] // *IEEE Access*. 2020. No. 8. P. 68124–68134.

11. Рябко К.А., Рябко Е.В. Воздействие двигателей внутреннего сгорания на окружающую среду // *Сборник научных трудов ДонИЖТ*. 2016. № 41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-dvigately-vnutrennego-sgoraniya-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата обращения: 17.08.2023).

12. Hamid Iravani. A multicriteria GIS-based decision-making approach for locating electric vehicle charging stations // *Transportation Engineering*. 2022. Vol. 9. P. 100135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100135> (дата обращения: 3.08.2023).

13. Sight distance analysis of highways using GIS tools / María Castro, Luis Iglesias, José A. Sánchez, Luis Ambrosio // *Transportation Research. Pt. C: Emerging Technologies*. 2011. Vol. 19, Iss. 6. P. 997–1005. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.05.012> (дата обращения: 17.08.2023).

14. Höhle J. Generating Topographic Map Data from Classification Results // *Remote Sensing*. 2017. No. 9 (3). 224 p. URL: <https://doi.org/10.3390/rs9030224> (дата обращения: 14.08.2023).

References

1. Review of models for assessing and forecasting solar energy income / V.S. Simankov, P. Yu. Buchatskiy, S.V. Onishchenko, S.V. Teploukhov // *Fundamental and applied aspects of geol-*

ogy, geophysics and geocology using modern information technologies: proceedings of the 7th International scient. and pract. conf., Maikop, May 15–19, 2023. Maikop: IP Kucherenko Vyacheslav Olegovich, 2023. Part 2. P. 167–174.

2. Review of Estimating and Predicting Models of the Wind Energy Amount / V. Simankov, P. Buchatskiy, S. Teploukhov [et al.] // *Energies*. 2023. No. 16. P. 5926. URL: <https://doi.org/10.3390/en16165926> (access date: 13/08/2023).

3. Gazette. Global carbon dioxide emissions stopped rising in 2019. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/02/11/822790-vibrosi-co2-2019> (access date: 17/08/2023).

4. The Impacts of Car-Free Days and Events on the Environment and Human Health / A. Glazener, J. Wylie, W. van Waas, H. Khreis // *Curr Environ Health Rep*. 2022. No. 9 (2). P. 165–182. DOI: 10.1007/s40572-022-00342-y

5. The Impact of Vehicle Ownership on Carbon Emissions in the Transportation Sector / L. Hou, Y. Wang, Y. Zheng, A. Zhang // *Sustainability*. 2022. No. 14. P. 12657. URL: <https://doi.org/10.3390/su141912657> (access date: 7/08/2023).

6. Characterizing the motivational mechanism behind taxi driver's adoption of electric vehicles for living: Insights from China Transp / M. Zhou, P. Long, N. Kong [et al.] // *Res. A*. 2021. No. 144 (2). P. 134–152.

7. Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review / Ahmad Fareed, Iqbal Atif, Ashraf Imtiaz [et al.] // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 2314–2333. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.180> (access date: 14/08/2023).

8. Liu J, Sun J, Qi X. Optimal Placement of Charging Stations in Road Networks: A Reinforcement Learning Approach with Attention Mechanism // *Applied Sciences*. 2023. No. 13 (14). P. 8473. URL: <https://doi.org/10.3390/app13148473> (access date: 11/08/2023).

9. Phonrattanasak P., Leeprechanon N. Optimal placement of EV fast charging stations considering the impact on electrical distribution and traffic condition // 2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE). Pattaya, Thailand, 2014. P. 1–6.

10. Optimal placement of electric vehicle charging stations in the active distribution network / M.Z. Zeb, K. Imran, A. Khattak [et al.] // *IEEE Access*. 2020. No. 8. P. 68124–68134.

11. Ryabko K. A., Ryabko E. V. Impact of internal combustion engines on the environment // Collection of proceedings of DonIzht. 2016. No. 41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-dvigatelye-vnutrennego-sgoraniya-na-okruzhayuschuyu-sredu> (access date: 17/08/2023).

12. Hamid Irvani. A multicriteria GIS-based decision-making approach for locating electric vehicle charging stations // *Transportation Engineering*. 2022. Vol. 9. P. 100135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100135> (access date: 3/08/2023).

13. Sight distance analysis of highways using GIS tools / María Castro, Luis Iglesias, José A. Sánchez, Luis Ambrosio // *Transportation Research. Pt. C: Emerging Technologies*. 2011. Vol. 19, Iss. 6. P. 997–1005. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.05.012> (access date: 17/08/2023).

14. Höhle J. Generating Topographic Map Data from Classification Results // *Remote Sensing*. 2017. No. 9 (3). 224 p. URL: <https://doi.org/10.3390/rs9030224> (access date: 14/08/2023).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 19.08.2023; одобрена после рецензирования 29.08.2023; принята к публикации 30.08.2023.

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 19.08.2023; approved after reviewing 29.08.2023; accepted for publication 30.08.2023.

© П. Ю. Буцацкий, С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко, Т. Ю. Бычков,
М. Т. Михальцов, А. Н. Лисова, О. И. Макаренко, 2023