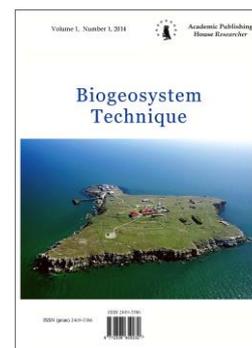


Copyright © 2019 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2019, 6(2): 83-90

DOI: 10.13187/bgt.2019.2.83
www.ejournal19.com



Ranking of Areas of Barnaul for Air Pollution

Anna Yu. Krupinnikova ^a, Elena V. Pechatnova ^{a,*}

^a Altai State University, Barnaul, Russian Federation

Paper Review Summary:

Received: 2019, April 20

Received in revised form: 2019, July 24

Acceptance: 2019, July 29

Abstract

The article is devoted to the problem of air pollution in large cities and the need for its research, taking into account territorial features (zoning of the city). Much attention is given to studies of Russian and foreign scientists in this area. The aim of the investigation is to study the influence of the territorial features of the districts of the capital of the Altai Territory – the city of Barnaul on the air environment by calculating a generalized indicator that could be used as a basis for improving quantitative environmental assessment procedures. The analysis of the state of atmospheric air in the city of Barnaul for the winter period: December-February 2019 was carried out to calculate the generalized indicator. The main source of information was the daily data of the Altai Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring on exceeding the maximum permissible concentration in each of the five districts of the city for six pollutants: carbon monoxide, suspended solids, nitrogen dioxide, carbon (soot), phenol, formaldehyde. Using the method of two-stage ranking, the integrated indicator of the level of air pollution in each district was calculated based on the rating of the regions. The calculation method can be applied for similar purposes in a comparative assessment of the ecological state of the districts of any cities. The results of the study are presented on a city map using the color scale. Areas with the most complex and most favorable environmental conditions have been identified. The analysis of the causes has been carried out, among the leading factors of air pollution in the city the following are highlighted: the main characteristics of the transport network in the district, the presence of industrial enterprises and the peculiarities of wind rose in the period under review. In conclusion, options for improving the situation are proposed, among which the leading one is to change the path of movement of transit transport, currently following through the regional capital.

Keywords: environmental situation, air pollution, environmental impact, ranking method, MPC excess, ecological zoning, mathematical methods in ecology, solving environmental problems.

1. Введение

Одной из значимых проблем современного общества является уровень экологической безопасности. Традиционно рассматриваются следующие составляющие экологической обстановки: загрязнение атмосферы, литосферы и гидросферы. По каждому направлению

* Corresponding author

E-mail addresses: phukcia@yandex.ru (E. Pechatnova)

проводятся научные исследования и предлагаются рекомендации по улучшению состояния. Однако для повышения эффективности таких мероприятий необходим учет территориальных особенностей мест, где анализируется проблема. Это связано с наличием уникальных характеристик, в том числе климатических особенностей у различных городов и других территорий.

В последнее время все большее внимание привлекает проблема загрязнения воздушной среды. Это связано со следующими причинами: прежде всего, опасен повышающийся уровень урбанизации, который ведёт к концентрации производственных и жилых объектов на ограниченной площади, что обуславливает повышение уровня загрязняющих веществ. Рост автомобилизации ведет к дополнительным проблемам в виде повышения выбросов от автомобильного транспорта (Рябец, 2018). Исследование воздушной среды в городах в настоящее время является важной задачей.

Анализ результатов исследований воздушной среды городов различными исследователями

Вопросы анализа воздушной среды обсуждались в различных работах. В исследовании, выполненном в Афганистане (Насими, Соловьева, 2017), на основе анализа воздушной среды Кабула получена регрессионная модель, отражающая зависимость концентрации взвешенных веществ от трех метеорологических параметров: температуры воздуха, влажности и скорости ветра. Однако авторам не удалось получить универсальную формулу для всех месяцев года. В работе (Помеляйко, Лопатина, 2015) авторы опровергли заключение о том, что один из городов-курортов (Кисловодск) не имеет значительных проблем с экологической нагрузкой. Авторы указали на необходимость создания систем экологического мониторинга и экологической безопасности в местах возведения и функционирования строительных комплексов и сооружений, транспортных сетей. В исследовании (Щербатюк, 2017) приведена оценка воздушной среды в Забайкальском крае и Чите, сформирован рейтинг федеральных округов по экологической безопасности воздушной среды. Оценка воздушной среды Красноярска на основе комплекса биоиндикационных (визуальных, морфометрических, биохимических) исследований, с последующим сравнением показателей, полученных на городских и фоновых участках произрастания ели, показала существенное загрязнение воздушной среды города (Степень, Соболева 2017). В работе (Бикбулатов и др., 2012) представлен анализ воздушной среды Стерлитамака, выделены основные причины загрязненности воздуха, которыми являются производственная деятельность предприятий различной направленности, рост числа автомобилей, использование низкокачественного топлива на предприятиях энергетики и в малых котельных. Работа (Звягинцева и др., 2018) посвящена анализу выбросов в Воронеже. Показана прямая связь уровня заболеваемости населения и загрязнения городской среды, представлены данные о распределении выбросов по районам города, однако, к сожалению, авторы не раскрыли деталей математического аппарата, использованного ими для количественной оценки установленной взаимосвязи.

Целью работы украинских исследователей (Rusakova, Biliaiev, 2013) стало создание математической модели для прогноза уровня загрязнения атмосферы на улицах микрорайона, находящихся вдоль автомагистралей. В результате нее возможны расчеты вероятных выбросов с учетом наличия зданий и их взаимное расположение в микрорайоне города, скорости и направления ветра, атмосферной диффузии.

В качестве методов оценки экологического состояния интерес вызывает патент российских ученых об оценке степени деградации техноландшафта при химическом загрязнении, основанный на трех этапах: нормировании загрязнения изучаемой территории и сопряженной территории, незагрязненной химическим загрязнителем; определение соотношения норм изучаемой и сопряженной территории и определение степени деградации по соотношению этих норм (Минкина и др., 2014). Многими зарубежными исследователями с целью оценки экологического состояния используется метод ранжирования: анализ воздушной среды городской местности проведен с помощью ранжирование территорий на основе метода принятия решений PROMETHEE (Nikolić et al., 2009); ранжирование регионов для выявления причин экологических проблем приведено в (Setton et al., 2015), в исследовании (Giusti et al., 2018) оценка концентраций используемых в

настоящее время пестицидов в атмосферном воздухе также проведена с использованием метода ранжирования.

Изучение состояния экосферы, в частности, оценка воздушной среды актуальна. Однако работ, посвященных анализу атмосферного воздуха в городах на основе объективных данных, полученных с использованием математических методов, и с учетом территориальных особенностей их районов загрязнения, пока по нашему мнению недостаточно. Перспективным направлением является оценка экологического состояния с использованием методов ранжирования.

Целью настоящей работы стало выделение влияния территориальных особенностей районов Барнаула на состояние воздушной среды с помощью ранжирования на основе разработанного нами в целях усовершенствования процедур количественной экологической оценки обобщенного показателя.

2. Материалы и методы

В основу исследования положена ежесуточная информация Алтайского ЦГМС о превышении ПДК по следующим шести загрязняющим веществам: оксид углерода (СО), взвешенные вещества, диоксид азота (NO₂), углерод-сажа (C_n), фенол (C₆H₆O), формальдегид (CH₂O). ПДК примесей в атмосферном воздухе населенных мест, принятые согласно гигиеническим нормативам ГН 2.1.6.1338-03 Минздрава России, представлены в [Таблице 1 \(АЦГМС, 2019\)](#).

Таблица 1. ПДК наблюдаемых загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	ПДК, мг/м ³	
	Максимальная разовая доза	Среднесуточная доза
Взвешенные вещества	0,5	0,15
Оксид углерода	5,0	3,0
Диоксид азота	0,2	0,04
Фенол	0,01	0,006
Формальдегид	0,050	0,010
Сажа	0,15	0,10

Для проведения исследований выбрано зимнее время 2018-2019 года. В качестве объектов исследования использованы пять районов Барнаула ([Таблица 2](#)).

Таблица 2. Районы города Барнаула

Районы	Площадь, км ²
Октябрьский	69,4
Центральный	145
Ленинский	125,6
Индустриальный	129,9
Железнодорожный	15,5

В процессе выполнения исследования сформирована таблица, отражающая ежедневное превышение ПДК по каждому из загрязняющих веществ по каждому району. Фрагмент данных представлен в [Таблице 3](#).

Таблица 3. Ежедневное превышение ПДК оксида углерода в районах города Барнаула (фрагмент собственной базы данных)

Районы\дата	11.02.2019	12.02.2019	13.02.2019
Октябрьский	1,2	1	–
Центральный	1,5	1,3	–
Ленинский	1,7	1,2	–
Индустриальный	1,2	1	–
Железнодорожный	–	–	–

Для определения влияния территориальных особенностей нами составлена методика на основе ранжирования интегральных показателей. Выбранный метод подходит для решения поставленной задачи в связи с тем, что ранги удобны для сравнения объектов, выявления проблем и их причин и постановки задач дальнейших исследований; интегральный показатель на основе рангов позволяет решить многокритериальную задачу сравнения районов по нескольким показателям (загрязняющим веществам). Для его расчета произведены следующие вычисления: просуммированы ежедневные (g) превышения ПДК по каждому загрязняющему веществу (i) по районам (j) – a_{ijg} . В результате получен интегральный j -ый районный показатель по i -ому загрязняющему веществу:

$$A_{ji} = \sum a_{ijg} \quad (1)$$

На основании выполненного согласно уравнению (1) расчёта проведено ранжирование районов по уровню загрязнения исследованными веществами (R_{ji}). Итоговый ранг загрязнения района выражен в виде ранга (функция $rank$) от суммы частных рангов по индивидуальным загрязнителям:

$$R_j = rank \sum R_{ij} \quad (2)$$

Таким образом, получены обобщенные показатели экологического состояния района, которые могут применяться для сравнения территорий.

3. Обсуждение

В результате расчета интегрального показателя для каждого района города получен суммарный ранг загрязнения (R_i). На [Рисунке 1](#) представлена карта районов Барнаула, на которой отображены результаты ранжирования с использованием черно-белой шкалы (наиболее безопасные территории отмечены белым фоном).

Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация с загрязнением воздуха в зимний период, сложилась в Центральном, а наиболее благополучная – в Ленинском районе. Новые результаты в целом согласуются с полученными ранее в ходе предварительных исследований, выполненных коллегами ([Рябец, Щербаклова, 2015](#)).

Обращаясь к анализу частных рангов (R_{i1} где 1 – индекс Центрального района), прослеживается следующая особенность: район занимает первые места (наименее благополучные) по всем загрязняющим веществам кроме фенола. Это свидетельствует о справедливости вывода об общей неблагоприятной экологической обстановке в сфере атмосферного воздуха на рассматриваемой территории краевой столицы.

Центральный район Барнаула отличается большой долей территории, занятой частной застройкой и наличием промышленных объектов. Кроме того, по территории этого района проходит загруженная автомобильная дорога – Змеиногорский тракт. Основной особенностью тракта являются транспортные заторы и большое количество транзитного грузового транспорта, следующего из приграничных государств (Республики Казахстан, Кыргызстана и др.), в крупные города западной Сибири: Новосибирск, Новокузнецк, Томск, Бийск и в обратном направлении. Несмотря на наличие лесной полосы вдоль дороги, она не в состоянии осадить загрязнения, которые несёт воздушный поток с автодороги, поскольку количество выбросов от проходящего транспорта очень велико, а конструкция и ширина лесополосы неприемлема для решения задачи защиты сопряженной с нею территории.

Наиболее благоприятная обстановка отмечается в Ленинском районе: согласно анализу итогового ранга, а также частных рангов района по загрязняющим веществам (R_{i5} где 5 – индекс Ленинского района), территория занимает последние (наиболее

благоприятные) места по всем изучаемым загрязняющим веществам. Несмотря на наличие в районе промышленных предприятий и движение грузового транспорта, положительную роль в формировании экологической обстановки играет роза ветров (выбросы идут из города). Также благоприятно играют особенности транспортной сети: на магистралях в Ленинском районе практически не фиксируются транспортные заторы.

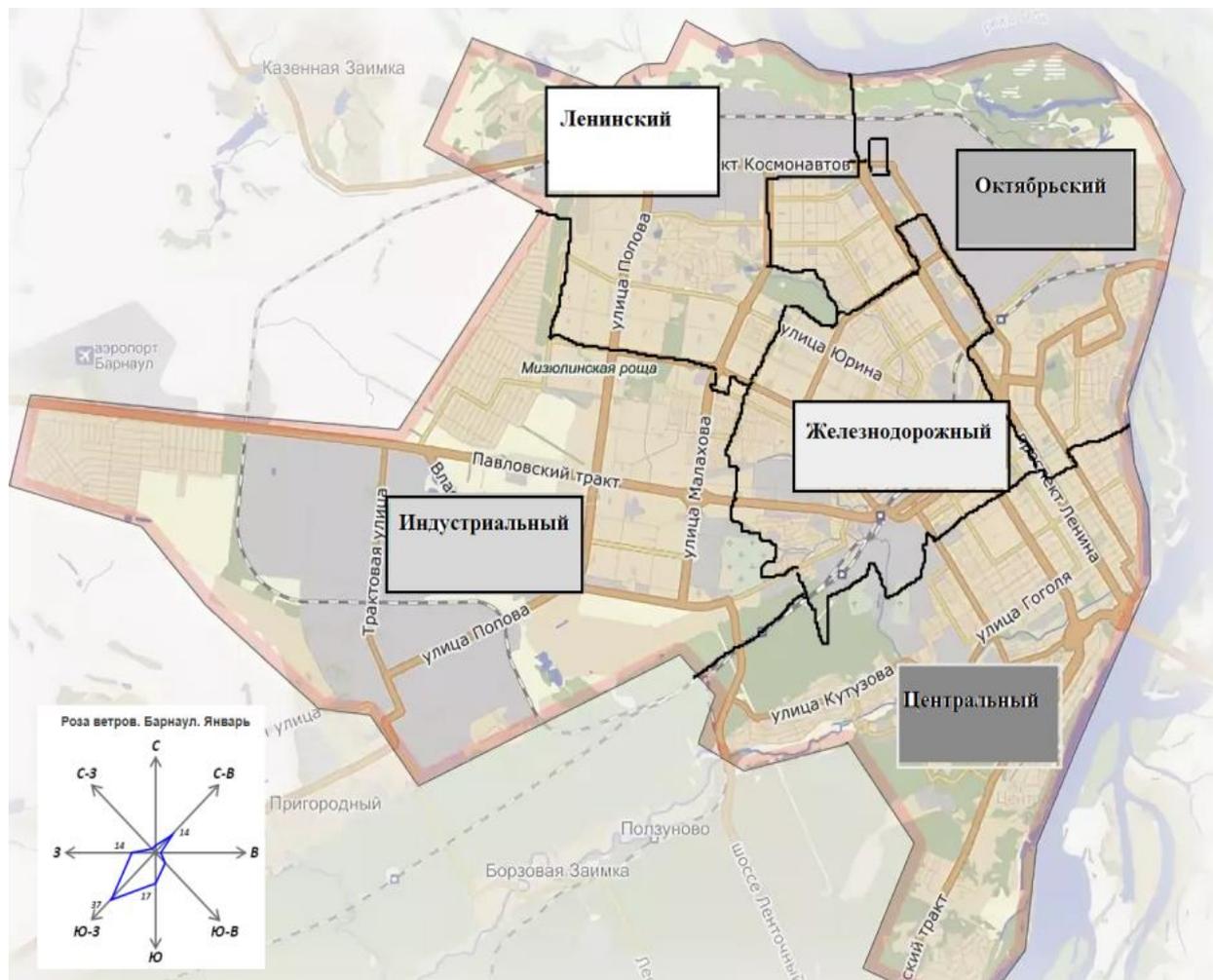


Рис. 1. Результаты ранжирования районов Барнаула

Перспектива дальнейшего исследования связана с увеличением объема данных и проведением анализа состояния атмосферы Барнаула в летний и весенне-осенний период.

4. Заключение

Выполнен расчет интегрального показателя загрязнения атмосферы Барнаула, проведено ранжирование районов города по рейтингу загрязнения. Наиболее неблагоприятная экологическая обстановка сложилась в Центральном районе, что скорее всего связано с высоким уровнем трафика транзитного грузового автотранспорта. Проблема загрязнения воздуха Барнаула может быть решена путем строительства транспортного обхода города, проект которого в настоящее время разрабатывается. Реализация этого решения позволит не только повысить экологическую безопасность города, связанную с загрязнением атмосферы, но также позволит снизить число ДТП.

Предложенный метод оценки экологической обстановки может служить основой усовершенствования процедур количественной экологической оценки.

Литература

АЦГМС, 2019 – Алтайский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo22.ru/poleznaya-informatsiya/> (дата обращения: 06.05.2019).

Бикбулатов и др., 2012 – Бикбулатов И.Х., Хайбуллин А.Ф., Асфандиярова Л.Р., Панченко А.А. Влияние антропогенных факторов, на состояние воздушного бассейна г. Стерлитамака // *Экология и промышленность России*. 2012. 4: 54-55.

Звягинцева и др., 2018 – Звягинцева А.В., Петрыкин А.А., Пригородова О.А. Анализ выбросов стационарных источников и их влияние на уровень заболеваемости в районах города Воронежа // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2018. 73: 59-66.

Минкина и др., 2014 – Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Сушкова С.Н., Бурачевская М.В., Невидомская Д.Г., Антоненко Е.М., Калинин В.П., Ендовицкий А.П., Ильин В.Б., Черненко В.В., Бакоев С.Ю. Патент RU № 2521362 С2. Способ оценки степени деградации техноландшафта при химическом загрязнении. МПК С01В (2006.01), Е02В13/00, G01N33/24. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 30 апреля 2014 г. Заявка № 2012101597/20(002163) от 17.01.12. Опубликовано 27.06.2014. Бюл. № 18. 7 с.

Насими, Соловьева, 2017 – Насими М.Х., Соловьева Т.В. О загрязнении мелкодисперсной пылью рм10 атмосферного воздуха города Кабул // *Инженерный вестник Дона*. 2017. 2 (45): 43.

Помеляйко, Лопатина, 2015 – Помеляйко И.С., Лопатина Т.Н. Сравнительный анализ экологического состояния крупных промышленных городов РФ и курорта федерального значения // *Социология города*. 2015. 2: 55-75.

Рябец, 2018 – Рябец О.П. Оценка транспортной системы Сибирского ФО с точки зрения автомобилизации / *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции*. 2018. Тюмень. С. 268-270.

Рябец, Щербакова, 2015 – Рябец О.П., Щербакова Л.В. Охрана воздушного бассейна города Барнаула // *Труды молодых ученых Алтайского государственного университета*. 2015. Барнаул. 2, 12. С. 122-124.

Степень, Соболева, 2017 – Степень Р.А., Соболева С.В. (2017). Оценка приоритетного экологического состояния городской территории // *Системы. Методы. Технологии*. 2017. 1 (33): 152-156.

Щербатюк, 2017 – Щербатюк А.П. Сравнительная оценка экологической безопасности воздушной среды федеральных округов Российской Федерации // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2017. 23, 9: 53-66.

Giusti et al., 2018 – Giusti A., Pirard C., Charlier C., Petit J.C.J., Crevecœur S., Remy S. Selection and ranking method for currently used pesticides (CUPs) monitoring in ambient air // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2018. 11(4), 385-396. DOI: 10.1007/s11869-017-0516-6

Nikolić et al., 2009 – Nikolić D., Milošević N., Mihajlović I., Živković Ž., Tasić V., Kovačević R., Petrović N. Multi-criteria Analysis of Air Pollution with SO₂ and PM₁₀ in Urban Area Around the Copper Smelter in Bor, Serbia // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2009. 206(1-4): 369–383. DOI: 10.1007/s11270-009-0113-x

Rusakova, Biliaiev, 2013 – Rusakova T.I., Biliaiev M.M. CFD modeling of the air pollution circulation in micro districts // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. 6 (111): 25-30.

Setton et al., 2015 – Setton E.M., Veerman B., Erickson A. et al. Identifying potential exposure reduction priorities using regional rankings based on emissions of known and suspected carcinogens to outdoor air in Canada // *Environmental Health*. 2015. 14: 69. DOI: 10.1186/s12940-015-0055-2

References

АСHEM, 2019 – Altaiskii tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy – filial FGBU «Zapadno-Sibirskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy» [Altai Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – branch of the West Siberian Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring]. [Electronic

resource]. URL: <http://meteo22.ru/poleznaya-informatsiya/> (date of access 2019-05-06). [in Russian]

Bikbulatov et al., 2012 – *Bikbulatov I.Kh., Khaibullin A.F., Asfandiyarova L.R., Panchenko A.A.* (2012). Vliyanie antropogennykh faktorov, na sostoyanie vozdušnogo basseina g. Sterlitamaka [The influence of anthropogenic factors on the state of the air basin of Sterlitamak]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 4: 54-55. [in Russian]

Giusti et al., 2018 – *Giusti A., Pirard C., Charlier C., Petit J.C.J., Crevecoeur S., Remy S.* (2018). Selection and ranking method for currently used pesticides (CUPs) monitoring in ambient air. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 11(4), 385-396. DOI: 10.1007/s11869-017-0516-6

Minkina et al., 2013 – *Minkina T.M., Mandzhiyeva S.S., Fedorov Yu.A., Sushkova S.N., Burachevskaya M.V., Nevidomskaya D.G., Antonenko E.M., Kalinichenko V.P., Endovitsky A.P., Il'in V.B., Chernenko V.V., Bakoev S.Yu.* (2013). Patent RU № 2521362 C2. Sposob otsenki stepeni degradatsii tekhnolandshafta pri khimicheskom zagryaznenii. MPK C01B (2006.01), E02B13/00, G01N33/24. Zaregistrovano v Gosudarstvennom reestre izobretenii Rossiiskoi Federatsii 30 aprelya 2014 g. Zayavka № 2012101597/20(002163) ot 17.01.12. Opublikovano 27.06.2014. Byul. № 18. 7 p. [Patent RU № 2521362 C2. A method for assessing the degree of degradation of the techno-landscape during chemical pollution. IPC C01B (2006.01), E02B13 / 00, G01N33 / 24. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on April 30, 2014. Application No. 2012101597/20 (002163) of 01/17/12. Published 06/27/2014. Bul. No. 18. 7 p]. [in Russian]

Nasimi, Solovieva, 2017 – *Nasimi M.Kh., Solovieva T.V.* (2017). O zagryaznenii melkodispersnoi pyl'yu rm10 atmosfernogo vozdukh goroda Kabul [About pollution with fine dust PM10 of atmospheric air in the city of Kabul]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2 (45): 43. [in Russian]

Nikolić et al., 2009 – *Nikolić D., Milošević N., Mihajlović I., Živković Ž., Tasić V., Kovačević R., Petrović N.* (2009). Multi-criteria Analysis of Air Pollution with SO₂ and PM₁₀ in Urban Area Around the Copper Smelter in Bor, Serbia. *Water, Air, and Soil Pollution*. 206(1-4): 369-383. DOI: 10.1007/s11270-009-0113-x

Pomelyayko, Lopatin, 2015 – *Pomelyayko I.S., Lopatin T.N.* (2015). Sravnitel'nyi analiz ekologicheskogo sostoyaniya krupnykh promyshlennykh gorodov RF i kurorta federal'nogo znacheniya [A comparative analysis of the ecological state of large industrial cities of the Russian Federation and a resort of federal significance]. *Sotsiologiya goroda*. 2: 55-75. [in Russian]

Rusakova, Biliaiev, 2013 – *Rusakova T.I., Biliaiev M.M.* CFD modeling of the air pollution circulation in micro districts. *Visnik Vinnits'kogo politekhnichnogo institute*. 6(111): 25-30.

Ryabets, 2018 – *Ryabets O.P.* (2018). Otsenka transportnoi sistemy Sibirskogo FO s tochki zreniya avtomobilizatsii [Evaluation of the transport system of the Siberian Federal District from the point of view of motorization]. *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Tyumen'*. Pp. 268-270. [in Russian]

Ryabets, Scherbakova, 2015 -- *Ryabets O.P., Scherbakova L.V.* (2015). Okhrana vozdušnogo basseina goroda Barnaula [Air protection in the city of Barnaul]. *Trudy molodykh uchenykh Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. Barnaul. 2, 12. Pp. 122-124. [in Russian]

Setton et al., 2015 – *Setton E.M., Veerman B., Erickson A. et al.* (2015). Identifying potential exposure reduction priorities using regional rankings based on emissions of known and suspected carcinogens to outdoor air in Canada. *Environmental Health*. 14: 69. DOI: 10.1186/s12940-015-0055-2

Shcherbatyuk, 2017 – *Shcherbatyuk A.P.* (2017). Sravnitel'naya otsenka ekologicheskoi bezopasnosti vozdušnoi sredy federal'nykh okrugov Rossiiskoi Federatsii [Comparative assessment of environmental safety of the air environment of the federal districts of the Russian Federation]. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 23(9): 53-66. [in Russian]

Stepen'. Soboleva 2017 – *Stepen' R.A., Soboleva S.V.* (2017). Otsenka prioritetnogo ekologicheskogo sostoyaniya gorodskoi territorii [Assessment of the priority ecological state of the urban area]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 1(33): 152-156. [in Russian]

Zvyagintseva et al., 2018 – *Zvyagintseva A.V., Petrykin A.A., Prigorodova O.A.* (2018). Analiz vybrosov statsionarnykh istochnikov i ikh vliyanie na uroven' zabolevaemosti v raionakh goroda Voronezha [Analysis of emissions of stationary sources and their impact on the incidence

rate in the areas of the city of Voronezh]. *Nauchno-meditsinskii vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 73: 59-66. [in Russian]

Ранжирование районов города Барнаула по условиям загрязненности воздуха

Анна Юрьевна Крупинникова ^a, Елена Владимировна Печатнова ^{a, *}

^a Алтайский государственный университет, Барнаул, Российская Федерация

Аннотация. В статье показана актуальность проблемы загрязнений воздуха в крупных городах и необходимость его исследования с учетом территориальных особенностей (районирования города). Рассмотрены отдельные работы российских и зарубежных ученых по данному направлению. Поставлена цель изучить влияние территориальных особенностей районов столицы Алтайского края – города Барнаула на воздушную среду с помощью расчета обобщенного показателя, который мог бы использоваться как основа при усовершенствовании процедур количественной экологической оценки. Для его расчета проведен анализ состояния атмосферного воздуха в городе Барнауле за зимний период: декабрь-февраль 2019 года. Основным источником информации выступили ежедневные данные Алтайского ЦГМС о превышении предельно-допустимой концентрации (ПДК) в каждом из пяти районов города по шести загрязняющим веществам: оксиду углерода, взвешенным веществам, диоксиду азота, углероду (саже), фенолу, формальдегиду. С помощью метода двухэтапного ранжирования рассчитан интегральный комплексный показатель уровня загрязнения атмосферного воздуха в каждом районе на основе получен рейтинга районов. Методика расчета может быть применена для аналогичных задач по сравнительной оценке экологического состояния районов любых городов. Для большей наглядности результаты нанесены на карту города с помощью использования цветовой шкалы. Выделены районы с наиболее сложной и наиболее благоприятной экологической обстановкой. Проведен анализ причин, среди ведущих факторов загрязнения атмосферного воздуха города выделены: основные характеристики транспортной сети на территории района, наличие промышленных предприятий и особенности розы ветров в рассматриваемый период. В заключение предложены варианты улучшения ситуации, среди которых ведущей является изменение пути движения транзитного транспорта, следующего в настоящее время через краевую столицу.

Ключевые слова: экологическая ситуация, загрязнение атмосферного воздуха, влияние транспорта на окружающую среду, метод ранжирования, превышение ПДК, экологическое районирование, математические методы в экологии, решение экологических проблем.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: phukcia@yandex.ru (Е.В. Печатнова)