

УДК 504.3(470.57)(045)

*А.В. Семакина, Г.Р. Платунова, А.Р. Мансуров***СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ  
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

В рамках данной работы построены карты состояния атмосферного воздуха на территории Республики Башкортостан с учетом влияния рельефа на рассеивание загрязняющих веществ. В качестве расчетной модели применялась видоизмененная методика В.А. Петрухина и В.А. Вишенского. Для повышения точности результатов был рассчитан поправочный коэффициент влияния рельефа на процесс рассеивания загрязняющих веществ. По полученным картам высокие концентрации загрязняющих веществ и высокие значения комплексного индекса загрязнения атмосферы наблюдаются вблизи двух промышленных зон: Уфа–Благовещенск и Салават–Стерлитамак.

*Ключевые слова:* атмосферный воздух, загрязняющие вещества, комплексный индекс загрязнения атмосферы, рельеф, республика Башкортостан.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284

Важнейшая роль экологических факторов в развитии современного общества формирует потребность в корректном представлении данной информации. Поскольку все экологические проблемы неотделимы от территорий, на которых они проявляются, их оценка и последующее решение невозможно без соответствующих картографических материалов. Атмосферный воздух – наиболее динамичный компонент природной среды и наряду с этим именно состояние атмосферного воздуха оказывает наибольшее воздействие на состояние здоровья населения.

Целью данного исследования является расчет средних значений концентраций и комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) с учетом влияния рельефа на рассеивание загрязняющих веществ на территории республики Башкортостан, и создание карт, описывающих состояние атмосферного воздуха в республике.

**Материалы и методы исследований**

В качестве исходного материала использовались данные государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды» в республике Башкортостан и сопредельных регионах за 2018 г. Базовой методикой расчета влияния выбросов от стационарных источников на состояние атмосферного воздуха являлась методика, предложенная В.А. Петрухиным и В.А. Вишенским [1]. В качестве основы при определении значений коэффициента рельефа были использованы принципы определения поправочных коэффициентов, утвержденных приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» («МРР-2017») [2]. Поправочный коэффициент, учитывающий влияние рельефа, был добавлен в исходную формулу Петрухина-Вишенского. Видоизмененная формула имела вид:

$$C = \sum (4 \times Q_i \times P_i \times K_i / \pi \times R_i \times U \times H) \times ((t \times U / R_i) + 1),$$

где:  $C$  – средняя концентрация вещества ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в слое перемешивания  $H$ ;

$P_i$  – повторяемость направления переноса в  $i$ -ом секторе (в долях единицы);

$Q_i$  – мощность источника загрязнения (тыс. т/год);

$K_i$  – коэффициент рельефа на контрольной точке;

$R_i$  – расстояние от источника до контрольной точки (км);

$U$  – скорость ветра в слое перемешивания (км/сут.);

$H$  – высота слоя перемешивания (км);

$t$  – время присутствия примеси в атмосфере, определяющееся интенсивностью процессов химической трансформации и осаждения (сут.).

Согласно методике, в расчете рассеивания загрязняющих веществ учитываются источники выбросов, расположенные от контрольной точки на расстоянии до 1000 км. Авторы методики В.А. Петрухин и В.А. Вишенский представили константами следующие значения: время присутствия для примесей в атмосфере (для оксида углерода  $t = 120$  сут., для углеводородов = 5 сут., для диоксида серы = 2 сут., для

диоксида азота =0,7сут.), скорость ветра в слое перемешивания (300 км/сут). Значения высоты слоя перемешивания были получены по результатам осреднения аэрологических наблюдений [3].

В качестве картографической основы была взята система границ административно-территориального деления карты республики Башкортостан масштаба 1:1950000, гидрографическая сеть и населенные пункты городского типа. Данная картографическая основа была получена посредством оцифровки изображения, полученного при помощи программного приложения OpenStreetMap с использованием программного продукта QGIS, проекция Pseudo-MercatorWGS 84 (PGS:3857). В дополнение к данным слоям, был создан слой, содержащий сеть контрольных точек, с размером ячеек = 0,1<sup>0</sup>. В общей сложности расчёт рассеяния примесей в атмосферном воздухе осуществлялся для 3901 контрольной точки. Карты концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) и комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха (КИЗА) были получены посредством интерполяции полученных для контрольных точек значений концентраций.

При расчете поправочного коэффициента рельефа учитывался перепад высот между соседними контрольными точками. Определение значений безразмерных величин коэффициента осуществлялось согласно Приложению 3 методики «МРР-2017». Данные поправочного коэффициента учитывались при расчете переноса загрязняющего вещества в заданном румбе [1].

### Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы были получены карты средних концентраций загрязняющих веществ и карта комплексного индекса загрязнения атмосферы на территории республики Башкортостан без учета влияния рельефа (рис. 1).

Анализируя рис. 1, можно отметить высокие концентрации оксидов углерода вблизи крупных городов (Уфа, Благовещенск, Стерлитамак, Салават, Туймазы). Средние значения превышают 5 мг/м<sup>3</sup> (или 1,6 ПДК<sub>с.с.</sub> для атмосферного воздуха населенных пунктов) и достигают 25 мг/м<sup>3</sup> (8 ПДК) вблизи городов Уфа, Стерлитамак. Это связано со значительными объемами выбросов оксида углерода от таких предприятий, как ПАО АНК «Башнефть», ООО «Уфа-Нефть», ООО «Башкирская генерирующая компания» и ООО «Башкирские распределительные тепловые сети», а также с высоким потенциалом загрязнения атмосферы в центральной части региона (рис. 2). На остальной территории Башкирии преобладают низкие и средние значения концентраций до 1 мг/м<sup>3</sup> (0,3 ПДК).

Наибольшие среднегодовые значения концентраций оксидов азота представлены в районе г. Уфа (более 0,5 мг/м<sup>3</sup> или 12,5 ПДК). Повышенные значения преобладают в непосредственной близости с городами Стерлитамак и Салават. Ведущим фактором формирования повышенных значений концентраций оксидов азота (в перерасчете на диоксид азота) являются значительные объемы выбросов, поступающие в атмосферный воздух от промышленных предприятий. В г. Уфа в 2018 г. в атмосферный воздух поступило 40,4 тыс. т/год оксидов азота, в г. Стерлитамак – 10,9 тыс. т/год, в г. Салават – 12,4 тыс. т/год. В целом на большей части территории республики отмечаются невысокие значения концентраций (до 0,05 мг/м<sup>3</sup> или 1,25 ПДК). Районы с низкими и средними значениями концентраций располагаются на западе и севере республики.

Среднегодовые значения концентраций диоксида серы, полученные путем моделирования рассеяния примеси в атмосферном воздухе, на территории Республики Башкортостан (РБ) не превышали предельно-допустимых значений. Наибольшие значения отмечались в районе города Уфы (0,001 мг/м<sup>3</sup> или 0,2 ПДК), а также вблизи городов Салават, Стерлитамак, Мелеуз, Благовещенск, Нефтекамск (более 0,005 мг/м<sup>3</sup> или 0,1 ПДК). В основном на территории республики преобладают низкие среднегодовые значения диоксида серы (менее 0,0001 мг/м<sup>3</sup> или 0,02 ПДК).

Наибольшие среднегодовые значения концентраций углеводородов наблюдаются вблизи г. Нефтекамск и Агидель (более 0,05 мг/м<sup>3</sup>). Это связано с функционированием в этих городах нефтегазодобывающих предприятий. На территории данных городов предприятиями выбрасывается более 3 тыс. т/год углеводородов [5]. В то же время данная территория характеризуется относительно благоприятными (в сравнении с остальной территорией РБ) условиями рассеяния (рис. 2). Таким образом, повышенные значения концентраций углеводородов, характерные для севера республики, связаны в основном со значительным объемом выбросов, превышающим ассимиляционный потенциал окружающей среды. Большая часть территории республики Башкирия характеризуется значениями концентраций углеводородов, не превышающих 0,001 мг/м<sup>3</sup>. В то же время дальнейший учет полученных результатов в расчете КИЗА затруднен в связи со значительным количеством компонентов, входящих в данную группу загрязняющих веществ, и не возможностью определения для них ПДК.

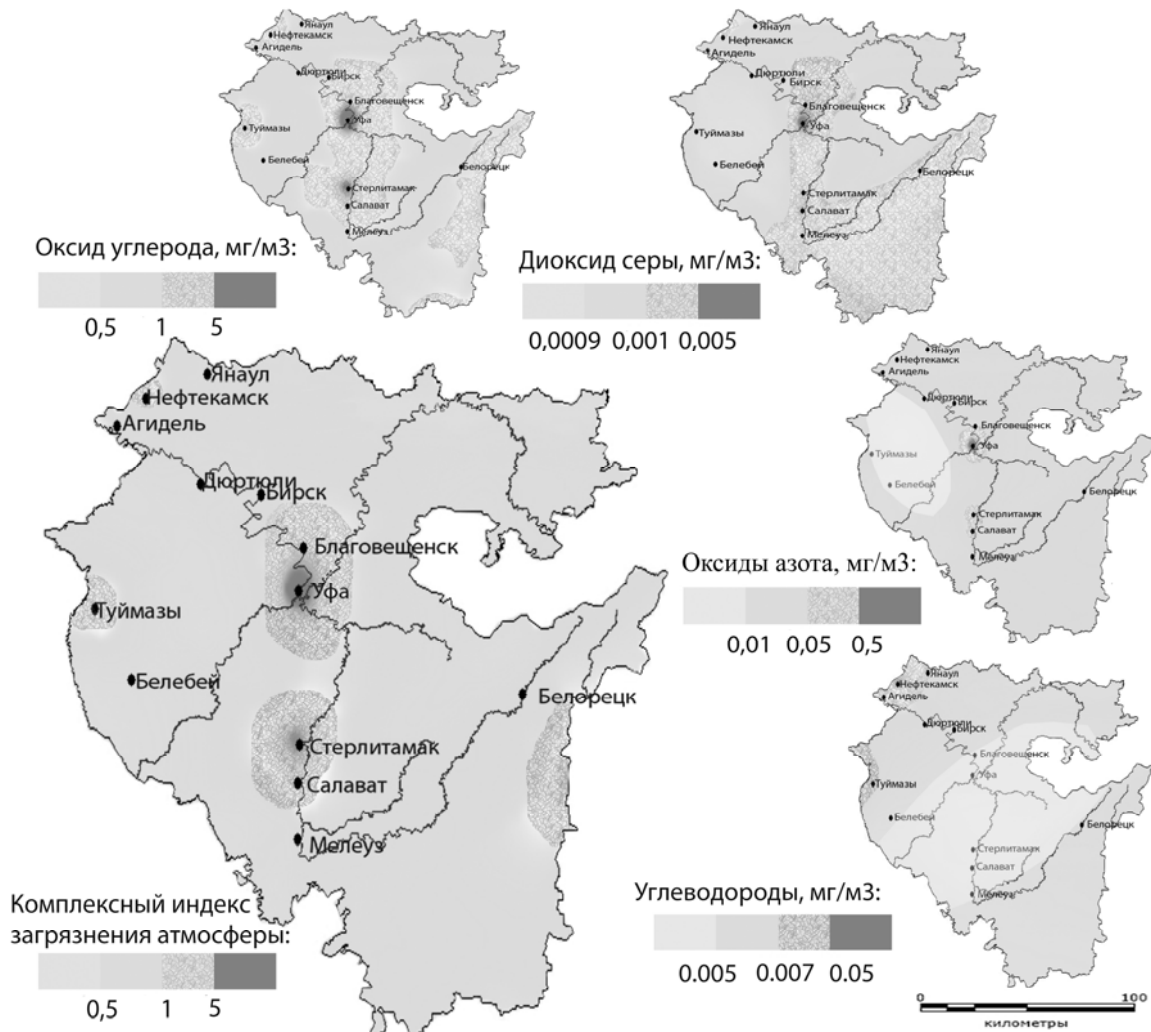


Рис. 1. Карта состояния атмосферного воздуха на территории Республики Башкортостан

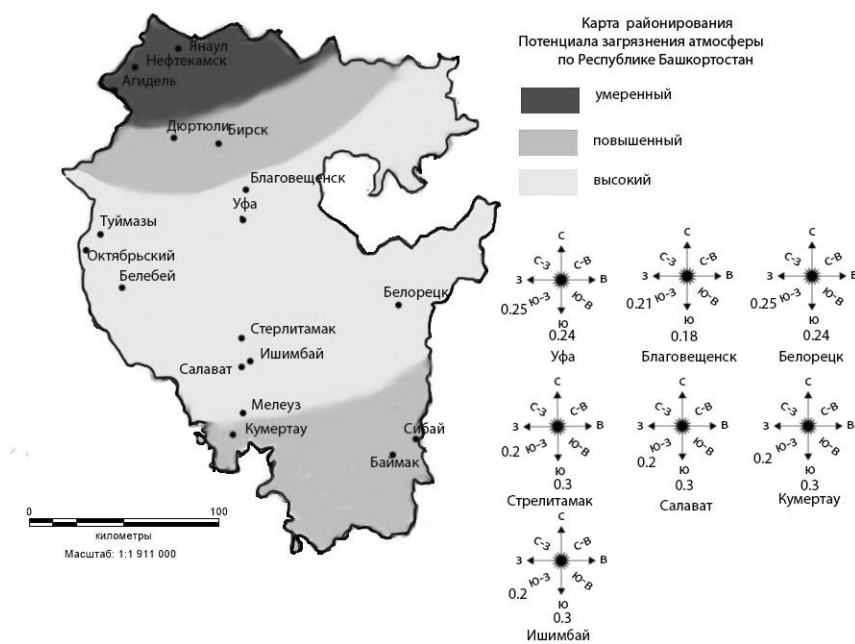


Рис. 2. Карта потенциала загрязнения атмосферы, согласно Э.Ю. Безуглой [4] и преобладающие направления ветра в Республике Башкортостан

Анализируя карту комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА), можно сделать вывод, что для большей части территории республики характерны значения показателя менее 1. Районы с повышенными значениями КИЗА располагаются вблизи крупных производственных центров. Например, расчётные значения КИЗА в непосредственной близости от г. Салават – 4, Уфы – 10, Стерлитамак – 6. В целом можно выделить районы, в которых отмечается низкий уровень загрязнения, это северная и южная часть республики. Связано это как с расположением районов в зонах умеренного и повышенного потенциала загрязнения (север и юг республики), так и отсутствием крупных промышленных источников выбросов, способных реализовать потенциал загрязнения. В то же время при отсутствии крупных источников выбросов на западе республики (за исключением г. Белорецк) отмечается повышение значений КИЗА до 5. Это связано с учетом, согласно модели рассеяния, переноса выбросов оксида углерода и оксидов серы от г. Магнитогорска.

На втором этапе работы нами были получены карты концентраций загрязняющих веществ, с учетом влияния на процесс рассеяния выбросов рельефа (рис. 3).

Анализируя полученные результаты, можно отметить значительные различия значений концентраций оксида углерода, полученных путем расчета рассеяния выбросов от стационарных источников без учета и с учетом влияния рельефа. На карте концентраций оксида углерода, полученных путем расчёта рассеяния, с учетом влияния на перенос примеси рельефа, отмечаются более высокие значения непосредственно вблизи источников выбросов (города Уфа, Благовещенск, Стерлитамак, Салават) и значительно более низкие на прилегающих территориях (рис. 3), чем на карте концентраций, полученной путем расчёта рассеяния без учета влияния рельефа (рис. 1). Существенное изменение расчетных значений концентраций оксида углерода, при учете в методике влияния рельефа, связано с константой, определяющей время присутствия примеси в атмосфере, принятой согласно В.А. Вишенского и В.А. Петрухина за 120 суток. За данный период при отсутствии препятствий оксид углерода переносится на значительные расстояния, являясь, таким образом, трансграничным загрязнителем. Однако, при учете влияния на процесс переноса рельефа, большая часть поллютанта остается вблизи источника выбросов (рис. 3). Карты концентраций диоксида серы, оксидов азота (по диоксиду азота), углеводородов изменились не в значительной степени.

Полученная расчетным путем карта комплексного индекса загрязнения атмосферы с учетом влияния рельефа (рис. 3), в значительной степени не изменилась в сравнении с картой КИЗА, полученной без учета влияния рельефа (рис. 1). Оксид углерода относится к 4 классу опасности загрязняющих веществ и при расчете КИЗА к нему применяется коэффициент опасности 0,9. Этим объясняется относительно не высокий вклад оксида углерода в итоговые значения КИЗА.

Таким образом, можно сделать вывод, что для большей части территории РБ значения КИЗА, полученные с учетом влияния на процесс рассеяния рельефа, составляют менее 1. Территория, характеризующаяся повышенным уровнем загрязнения атмосферы, располагается вблизи крупных производственных центров. Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха характерен для города Уфа.

Для верификации расчётных значений уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории РБ они были сопоставлены с данными государственной мониторинговой сети (таблица).

### Верификация полученных данных

Населенный пункт	Значение КИЗА по данным государственной мониторинговой сети	Класс качества атмосферного воздуха согласно данным государственной мониторинговой сети	Значение КИЗА по данным моделирования	Класс качества атмосферного воздуха согласно данным моделирования
Благовещенск	1,6	низкий	3,6	низкий
Салават	4	повышенный	5,1	повышенный
Стерлитамак	4,4	повышенный	5	повышенный
Туймазы	2,4	низкий	2	низкий
Уфа	3,1	низкий	7	высокий

При интерпретации значений КИЗА в классы качества атмосферного воздуха можно отметить, что в приведенных населенных пунктах, где осуществляется государственный мониторинг состояния атмосферного воздуха, отмечается один уровень загрязнения как по данным натуральных измерений, так и по данным, полученным расчётным путем (за исключением г. Уфа). Таким образом, полученные результаты в целом имеют высокую сходимость.

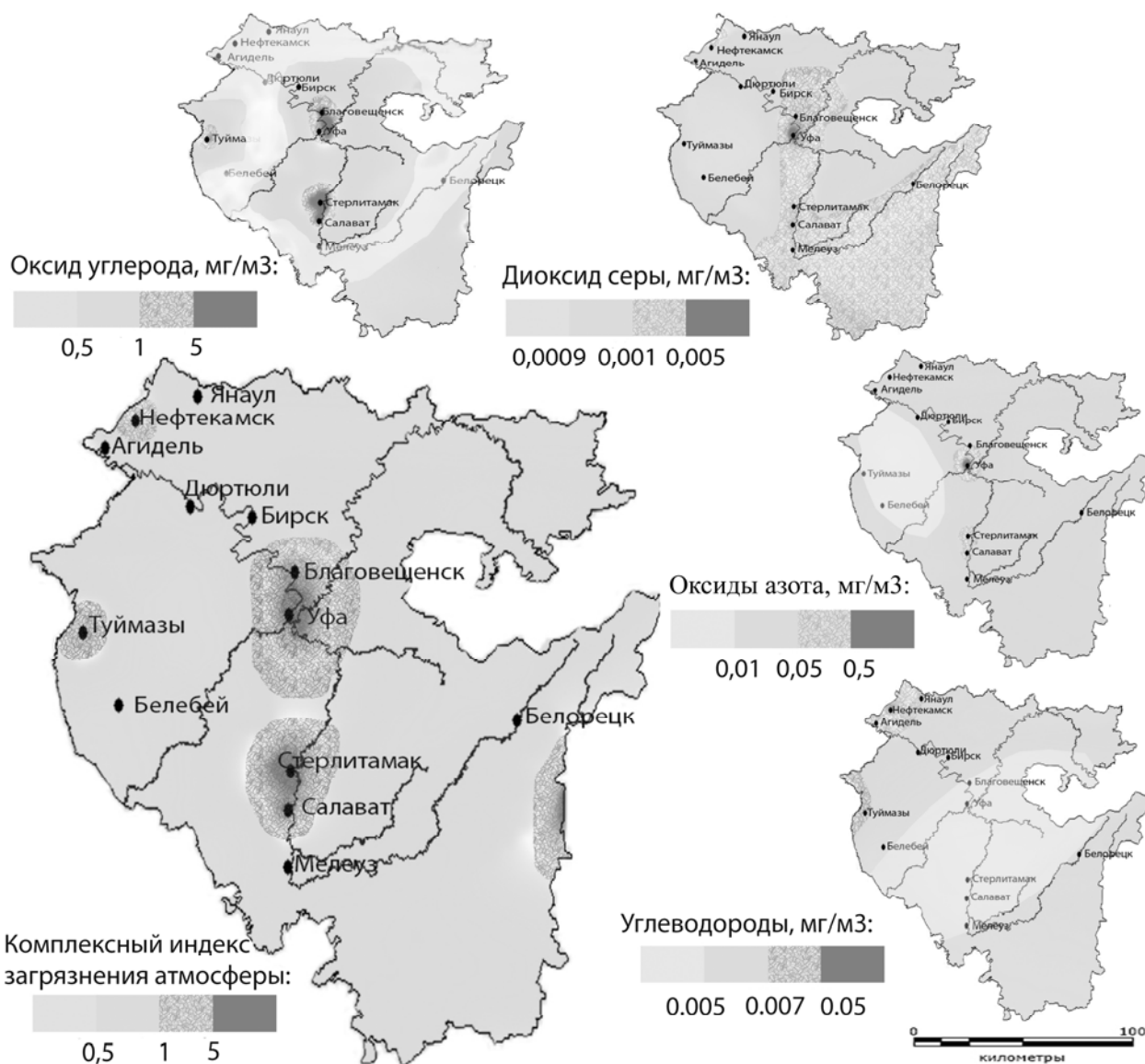


Рис. 3. Карта состояния атмосферного воздуха на территории Республики Башкортостан, полученная с учетом влияния на процесс рассеяния рельефа

### Заключение

Получены карты концентраций основных примесей и значений КИЗА на территории Республики Башкортостан. Результаты верификации значений уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории РБ, полученные расчетным путем и на основании данных государственного мониторинга, в целом показывают высокую сходимость. Основные расхождения значений были связаны с учетом специфических примесей при организации федеральной мониторинговой сети. Не учтенными в расчете рассеивания для всех городов являются такие компоненты, как формальдегид, бенз(а)пирен, фенолы, сажа, взвешенные вещества. В некоторых же населенных пунктах РБ, в рамках федерального мониторинга, не проводится контроль содержания в атмосфере оксидов азота, оксида углерода, диоксида серы. Учет специфических компонентов в моделировании рассеяния затруднен в связи с отсутствием в официальных источниках информации об объемах выбросов специфических примесей. В то же время на данный момент основными наиболее распространенными газообразными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников, являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода и углеводороды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petrukhin V.A., Vishensky V.A. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements // *Changing composition of the troposphere. Spatial Environment. Rep. N 17.* WMO. 1989. P. 83-86
2. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (Утверждены приказом Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273). 109 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 12. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 648 с.
4. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: справ. пособие / под ред. Э.Ю. Безуглой, М.Е. Берлянда. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 326 с.
5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2018 г. Уфа, 2019. 276 с.

Поступила в редакцию 15.09.2020

Семакина Алсу Валерьевна, кандидат географических наук,  
доцент кафедры экологии и природопользования  
E-mail: alsen13@list.ru

Платунова Гузель Рашидовна, кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологии и природопользования  
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская 1 (корп. 1)

Мансуров Алмаз Рустамович, инженер-проектировщик  
ООО «АПРИТ»  
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Удмуртская, 268  
E-mail: mansurov.almz@yandex.ru

**A.V. Semakina, G.R. Platonova, A.R. Mansurov**

**ATMOSPHERIC AIR CONDITION IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN**

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284

In this work, the maps of the atmospheric air condition in the territory of the Republic of Bashkortostan were built taking into account the influence of the relief on the dispersion of pollutants. As a calculation model, a modified technique of V.A. Petrukhin and V.A. Vishensky was used. To increase the accuracy of the results, a correction factor for the influence of the relief on the process of dispersion of pollutants was calculated. According to the maps obtained, high concentrations of pollutants and high values of the integrated air pollution index are observed near two industrial centers: Ufa-Blagoveshchensk and Salavat-Sterlitamak.

*Keywords:* pollutants, integrated index of atmospheric pollution, Republic of Bashkortostan, relief atmospheric air.

## REFERENCES

1. Petrukhin V.A., Vishensky V.A. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements, in *Changing composition of the troposphere. Spatial Environment. Rep. N 17*, WMO, 1989, pp. 83-86.
2. *Metody raschetov rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernom vozdukh (Utvverzhdenny prikazom Minprirody Rossii ot 6 iyunya 2017 goda N 273)* [Methods of calculation of dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the air (Approved by Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 6, 2017 № 273)] 109 p. (in Russ).
3. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Ser. 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1-6. Vyp. 12* [Scientific-applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Multi-year data. Part 1-6. Iss. 12], Leningrad: Hydrometeoisdat, 1988. P. 648 (in Russ).
4. *Klimaticheskie kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesey v atmosfere: Sprav. posobie* [Climatic characteristics of the conditions for the spread of impurities in the atmosphere: Reference manual], Bezuglaia E.Yu. and Berland M.E. (ed), Leningrad: Hydrometeoisdat, 1983. 326 p. (in Russ).

5. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii prirodnikh resursov i okruzhayushchey sredy Respubliki Bashkortostan v 2018g.* [State Report on the state of Natural Resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan in 2018]. Ufa, 2019. 276 p. (in Russ).

Received 15.09.2020

Semakina A.V., Candidate of Geography, Associate Professor

E-mail: alsen13@list.ru

Platunova G.R., Candidate of Biology, associate professor

E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034

Mansurov A.R., design engineer

LLC APRIT

Udmurtskaya st., 268, Izhevsk, Russia, 426034

E-mail: mansurov.almz@yandex.ru