**РАНЖИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
СТАЦИОНАРНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

**А.А. Ибрагимова¹, А.Р. Шагидуллин¹, В.А. Габдрахимова¹,
Р.А. Шагидуллина², Р.Р. Шагидуллин¹**

¹Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, РФ, г. Казань, ул. Даурская, 28

²Министерство экологии и природных ресурсов РТ, РФ, г. Казань, ул. Павлюхина, 75

E-mail: Artur.Shagidullin@tatar.ru

В статье приводится способ ранжирования территории города по уровню загрязнения атмосферы. Выполнены расчеты рассеивания выбросов стационарных источников, определены максимальные разовые и среднегодовые концентрации вредных веществ для г. Нижнекамск, который является крупным центром нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Анализ пиковых кратковременных воздействий проводится на основе максимальных концентраций, выраженных в долях гигиенических нормативов, референтных концентраций при остром ингаляционном воздействии и порогов запахов веществ. Анализ долговременного воздействия проводится на основе комплексного индекса загрязнения атмосферы. По результатам расчета указанных параметров выполняется зонирование территории города.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, сводные расчеты, максимальная концентрация, риск, доля порога запаха, среднегодовая концентрация, индекс загрязнения атмосферы.

Поступила в редакцию: 22.09.2021. После доработки: 07.10.2021.

Введение. При планировании развития городских территорий важным этапом является зонирование по уровню воздействия антропогенных источников на окружающую среду, важнейшим компонентом которой является атмосферный воздух. Уровень загрязнения атмосферного воздуха города формируется под воздействием стационарных (выбросы промышленных или коммунальных предприятий) и передвижных (транспорт, главным образом автомобильный) источников.

Степень загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта в той или иной точке города в сравнении со стационарными источниками в большей степени предсказуема, так как зависит от наглядно наблюдаемых транспортных потоков. Их интенсивность хоть и не является постоянной величиной, но ее изменение в течение суток, недели, в зависимости от времени года с относительно небольшой погрешностью подчиняется определенным закономерностям.

Выбросы стационарных источников содержат значительно большее количество компонентов с более сложным про-

странственно-временным распределением. Анализ возможных сценариев рассеивания примесей от стационарных источников, таким образом, является более сложной задачей, которую трудно решить без детальных расчетов рассеивания на основе общегородского банка данных параметров выбросов всех основных источников.

Расчеты рассеивания на основе общегородского банка данных выбросов позволяют проводить комплексную оценку качества атмосферного воздуха исследуемой территории.

В данной статье на основе результатов расчетов рассеивания выбросов стационарных источников проводится зонирование территории г. Нижнекамск по уровню воздействия атмосферных примесей. Нижнекамск является крупным центром нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности с подавляющим вкладом стационарных источников в загрязнение воздуха.

Материалы и методы исследования. Нижнекамск с населением 240 тыс. человек располагается в Республике Татарстан. Город возник в 1960-е годы при

строительстве Нижнекамского нефтехимического комбината (предшественник современного ПАО «Нижнекамскнефтехим»). В настоящее время на территории города функционирует крупнейший нефтехимический и нефтеперерабатывающий промышленный узел, включающий наряду с ПАО «Нижнекамскнефтехим» производства компаний АО «ТАНЕКО», АО «ТАИФ-НК», а также ряд других крупнейших производств.

На ряду с промышленным потенциалом следует отметить планировку города. Жилая часть находится на расстоянии нескольких километров к северо-западу от промышленного комплекса, что позволяет снижать воздействие выбросов в атмосферу на население города за счет естественных процессов рассеивания и осаждения примесей.

Расчетная оценка пиковых (кратковременных) уровней загрязнения проводится на основе максимальной разовой концентрации. Так как механизм воздействия атмосферных примесей на организм человека является сложным, в качестве пороговых значений использовались одновременно максимальные разовые предельно допустимые концентрации – ПДК_{м.р.} [1], референтные концентрации для оценки ингаляционного риска здоровью человека – RfC [2] и пороги запахов веществ [2]. Для оценки хронического воздействия использовался комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА₅), величина которого рассчитывается в соответствии с [3] по пяти веществам, среднегодовые концентрации которых имеют наибольшие значения. Предельно допустимые среднегодовые концентрации принимались в соответствии с [1].

Концентрации загрязняющих веществ рассчитывались в воздухе жилых территорий г. Нижнекамск, для чего был сформирован набор из 109 расчетных точек. Расположение расчетных точек привязывалось к местам расположения детских садов и школ [4].

Расчеты максимальных и среднегодовых уровней загрязнения проводились на основе известных параметров выбросов в атмосферу наиболее значимых предприятий города. В качестве источ-

ника данных использовалась сводная база параметров выбросов источников загрязнения атмосферного воздуха г. Нижнекамск, созданная в рамках работ по ведению системы сводных расчетов рассеивания загрязняющих веществ, организованных Министерством экологии и природных ресурсов Республики Татарстан [5].

Все расчеты рассеивания выполнялись в соответствии с действующей методикой [6] с использованием Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог-Город 4.60», разработанной ООО «Фирма «Интеграл», г. Санкт-Петербург.

Статистическая обработка результатов вычислений проводилась в программе STATISTICA 6.1.

Результаты и их обсуждение. По результатам проведенных расчетов был составлен массив максимальных разовых концентраций в 109 расчетных точках для всего перечня веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух из стационарных источников города, включающего в общей сложности 336 наименований. Далее из рассмотрения были исключены вещества, формирующие низкие уровни загрязнения на всей территории города (менее 0,1 ПДК_{м.р.} во всех расчетных точках). В результате отсева в дальнейшую обработку принят массив данных по 21 веществу, включающий значения максимальных концентраций в долях ПДК_{м.р.} ($C_{ПДКмр}$), коэффициенты опасности для оценки рисков при остром воздействии (концентрации в долях RfC – C_{RfC}) и концентраций, выраженных в долях порогов запахов ($C_{пз}$), для каждой примеси.

Ниже в табл. 1 приводятся усредненные значения указанных выше показателей по принятым в городе административным единицам (микрорайоны и кварталы).

Дальнейший исследование пространственного распределения кратковременных пиковых уровней загрязнения проводилось методами кластерного анализа.

Анализ дендрограммы, полученной по результатам первичной иерархической классификации по методу полной связи с евклидовой метрикой, показал

возможность выделения четырех кластеров. Далее была проведена кластеризация методом К-средних с выделением

четырех кластеров, дисперсионный анализ результатов которой показал значимое различие кластеров.

Таблица 1. Средние по административным единицам г. Нижнекамска значения максимальных разовых концентраций, выраженных в долях ПДК_{м.р.} ($C_{ПДКм.р.}$), RfC (C_{RfC}) и порогов запахов ($C_{пз}$), и результаты кластеризации

Район	$C_{ПДКм.р.}$	C_{RfC}	$C_{пз}$	Кол-во точек в кластере под №			
				1	2	3	4
6 мкр.	0,165	0,019	0,006	-	3	-	-
7 мкр.	0,167	0,019	0,006	-	3	-	-
8 мкр.	0,166	0,019	0,006	-	2	-	-
9 мкр.	0,189	0,020	0,007	-	-	5	-
10 мкр.	0,179	0,020	0,006	-	-	4	-
11 мкр.	0,158	0,018	0,006	-	3	-	-
12 мкр.	0,148	0,018	0,006	4	-	-	-
13 мкр.	0,157	0,018	0,006	-	3	-	-
14 мкр.	0,167	0,019	0,006	-	3	-	-
17 мкр.	0,129	0,017	0,005	-	-	-	2
18 мкр.	0,133	0,017	0,005	1	-	-	2
19 мкр.	0,129	0,016	0,005	-	-	-	2
20 мкр.	0,120	0,016	0,005	-	-	-	7
21 мкр.	0,140	0,017	0,005	4	-	-	-
22 мкр.	0,135	0,017	0,005	1	-	-	1
23 мкр.	0,135	0,017	0,005	2	-	-	2
24 мкр.	0,136	0,017	0,005	-	-	-	-
25 мкр.	0,137	0,017	0,005	2	-	-	-
27 мкр.	0,127	0,016	0,005	-	-	-	5
28 мкр.	0,123	0,016	0,005	-	-	-	1
30 мкр.	0,144	0,017	0,005	9	-	-	-
31 мкр.	0,128	0,016	0,005	-	-	-	1
29Б мкр.	0,116	0,015	0,005	-	-	-	1
34 мкр.	0,133	0,017	0,005	-	-	-	1
35 мкр.	0,148	0,018	0,006	1	-	-	-
36Б мкр.	0,174	0,021	0,007	-	2	2	-
37 мкр.	0,164	0,022	0,006	-	3	-	-
44 мкр.	0,133	0,017	0,005	-	-	-	1
45 мкр.	0,134	0,017	0,005	1	-	-	1
47 мкр.	0,125	0,016	0,005	-	-	-	2
49 мкр.	0,132	0,016	0,005	-	-	-	1
кв. 1	0,173	0,020	0,006	-	1	1	-
кв. 2	0,174	0,020	0,006	-	-	1	-
кв. 5	0,176	0,023	0,006	-	-	1	-
кв. 6	0,165	0,021	0,006	-	2	-	-
кв. 7	0,163	0,020	0,006	-	3	-	-
кв. 9А	0,170	0,019	0,006	-	1	2	-
кв. Е	0,190	0,025	0,007	-	-	3	-
кв. СО	0,150	0,018	0,006	1	-	-	-
кв. СУЗ	0,145	0,018	0,005	1	-	-	-
Итого				31	29	19	30

График средних и доверительных интервалов представлен на рис. 1, кластерная карта для территории г. Нижне-

камск с указанием расположения расчетных точек, принятых для анализа – на рис. 2.

Рис. 1. График средних и доверительных интервалов $C_{ПДКмр}$, C_{RfC} и $C_{пз}$ для кластеров 1–4

Fig. 1. Plot of means and confidence intervals of C_{PDKmr} , C_{RfC} and C_{pz} for clusters 1–4

Кластер 3 характеризуется наибольшими значениями оцениваемых параметров, при этом различия с остальными кластерами значимы (рис. 1). По результатам анализа совокупности параметров полученные кластеры следует расположить в следующий ряд: кластер 3 > кластер 2 > кластер 1 > кластер 4, т.е. наибольшие значения выделенных для анализа параметров наблюдаются в кластере 3, наименьшие – в кластере 4. Кластер 3 включает территории наиболее близких к промышленной зоне микрорайонов и кварталов (9 мкр., 10 мкр., кв. Е, 36Б мкр., кв. 9А, кв. 1, кв. 2, кв. 5). Кластер 4 охватывает наиболее удаленные от промышленного узла территории города.

Территории полученных кластеров отражены на рис. 2.

Если считать кластер 3 территорией вероятного повышенного уровня загрязнения, кластеры 1, 2 – среднего, кластер 4 – пониженного уровня загрязнения, тогда по уровням пикового кратковременного загрязнения селитебная терри-

тория города делится следующим образом:

- зона пониженного загрязнения – 28% территории,
- зона среднего загрязнения – 55% территории,
- зона повышенного загрязнения – 17% территории.

Для определения среднегодового (хронического) воздействия использовался комплексный индекс загрязнения атмосферного воздуха, который рассчитывался в каждой точке по формуле $KИЗА_5 = \sum_{i=1}^5 (C_i / ПДК_{сг})^{\beta_i}$, где C_i – рассчитанная среднегодовая концентрация, $ПДК_{сг}$ – среднегодовая предельно допустимая концентрация, β_i – коэффициент, зависящий от класса опасности вещества. Сумма рассчитывается по пяти веществам, для которых значения концентраций в долях $ПДК_{сг}$ имеют наибольшие значения [3].

Полученные расчетные значения $KИЗА_5$ находятся в диапазоне 0,20–0,32. В табл. 2 представлены средние по районам города.

Таблица 2. Средние значения $KИЗА_5$ по районам г. Нижнекамска

Район	Средний $KИЗА_5$ по району
6 мкр.	0,282
7 мкр.	0,264
8 мкр.	0,265
9 мкр.	0,267
10 мкр.	0,275
11 мкр.	0,270
12 мкр.	0,287
13 мкр.	0,275
14 мкр.	0,282
17 мкр.	0,239
18 мкр.	0,269
19 мкр.	0,220
20 мкр.	0,244
21 мкр.	0,237
22 мкр.	0,230
23 мкр.	0,231
24 мкр.	0,232
25 мкр.	0,215
27 мкр.	0,235
28 мкр.	0,288
30 мкр.	0,257
31 мкр.	0,308
29Б мкр.	0,257

34 мкр.	0,284
35 мкр.	0,312
36Б мкр.	0,261
37 мкр.	0,256
44 мкр.	0,232
45 мкр.	0,229
47 мкр.	0,223
49 мкр.	0,210
кв. 1	0,235
кв. 2	0,284
кв. 5	0,238
кв. 6	0,279
кв. 7	0,261
кв. 9А	0,228
кв. Е	0,217
кв. СО	0,257
кв. СУЗ	0,269

Следуя градации, принятой в [7], такой уровень загрязнения следовало бы охарактеризовать как низкий. Однако, в силу отличия исходных данных эта градация к расчетным значениям комплексного индекса неприменима.

Коэффициент вариации по всему ряду значений КИЗА₅ составляет 12,2%. Это говорит о незначительных изменениях среднего уровня загрязнения в пределах жилой части города, но для пространственной характеристики распространения загрязнения необходимо определить градацию индекса, которая может быть получена на основе анализа вариационного ряда значений КИЗА₅: 0,20–0,23 – пониженный уровень среднегодового загрязнения (от минимального значения до 33% выборки), 0,23–0,27 – средний уровень (от 33 до 66% выборки), 0,27–0,32 – повышенный уровень среднегодового загрязнения (от 66% до максимального значения). Карта распределения значений КИЗА₅, построенная с учетом предложенных диапазонов для оценки, представлена на рис. 3.

Как можно видеть из рис. 3, наиболее высокие среднегодовые уровни загрязнения наблюдаются на территории ближайших к промышленному узлу микрорайонов и кварталов города.

Заключение. На основе результатов расчетов рассеивания выбросов стационарных источников загрязнения атмосферы г. Нижнекамска проведено зонирование жилой части территории города

по факторам максимального разового и среднегодового загрязнения. Выделены территории с повышенными, средними и пониженными уровнями загрязнения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 730000Р.16.1.ОН16АА25000 «Научно-методическое обеспечение исследования антропогенных факторов формирования качества атмосферного воздуха промышленных городов Республики Татарстан».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. 496 с.
2. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. 2004. 143 с.
3. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. 2005. 52 с.
4. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Новикова С.В., Валиев В.С. Методология нормирования приоритетных загрязняющих веществ в компонентах урбозко-системы. Казань: Отечество. 2014. 160 с.
5. Ведение системы расчетного мониторинга за состоянием атмосферного воздуха для выявления источников загрязнения, деятельность которых является причиной повышенной загазованности атмосферного воздуха в городе Нижнекамске. Отчет по № 20 МЭ-5с от 14.02.2020 г. Казань: ИПЭН АН РТ. 2020. 177 с.
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Утв. приказом Минприроды РФ от 06.06.2017 г. № 273.
7. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. 1991. 683 с.

Рис. 2. Кластеры на территории г. Нижнекамска по уровню кратковременного пикового воздействия

Fig. 2. Clusters on the territory of Nizhnekamsk by the level of short-term peak impact

Рис. 3. Карта распределения значений КИЗА₅ в г. Нижнекамске

Fig 3. Map of distribution of KIZA₅ values in Nizhnekamsk

RANKING OF THE CITY TERRITORY BASED ON THE RESULTS OF CALCULATED MONITORING OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION FROM STATIONARY SOURCES

A.A. Ibragimova¹, A.R. Shagidullin¹, V.A. Gabdrahimova¹, R.A. Shagidullina², R.R. Shagidullin¹

¹Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, RF, Kazan, Daur'skaya St., 28

²Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, RF, Kazan, Pavlyukhina St., 75

The article focuses on a method for ranking the city territory according to the level of atmospheric pollution. Calculations of dispersion of emissions from stationary sources are performed, maximum one-time and average annual concentrations of harmful substances for the city of Nizhnekamsk, which is a large center of the petrochemical and oil refining industries, are determined. Analysis of peak short-term exposure is carried out on the basis of maximum concentrations expressed in terms of hygiene standards, reference concentrations for acute inhalation exposure and odor thresholds of substances. Long-term impact analysis is based on the Integrated Air Pollution Index. Based on the results of the calculation of these parameters, the zoning of the city territory is carried out.

Keywords: air pollution, summary calculations, maximum concentration, risk, odor threshold fraction, average annual concentration, air pollution index.

REFERENCES

1. *SanPiN 1.2.3685-21*. Gигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (in Russian). 2021. 496 p.
2. *R 2.1.10.1920-04*. Рукoвoдствo пo oцeнкe рискa длyа здoрoв'я нaсeлeниyа пpи вoздeйствии химичeских вeщeств, зaгpязняющeх oкpужaющeгo сpeдy (in Russian). 2004. 143 p.
3. *RD 52.04.667-2005*. Дoкyмeнты o сoстoянии зaгpязнeния aтмoсфeры в гoрoдax длyа инфoрмирoвaния гoсyдapствeнных oрганoв, oбщeствeннoсти и нaсeлeния. Oбщeиe тpeбoвaния к paзpaбoткe, пoстpoeнию, излoжeнию и сoдeржaнию (in Russian). 2005. 52 c.
4. *Tunakova YU.A., SHagidullina R.A., Novikova S.V., Valiev V.S.* Мeтoдoлoгия нoрмирoвaния пpиoритeтных зaгpязняющeх вeщeств в кoмпoнeнтax yрбoэкoсистeмы. Kazan: Oтeчeствo. 2014. 160 p. (in Russian). 2014. 160 c.
5. *Vedenie* систeмы рaсчeтнoгo мoнитoрингa зa сoстoяниeм aтмoсфeрнoгo вoздyхa длyа вьyвлeния истoчникoв зaгpязнeния, дeятeл'нoст' кoтoрых являeтся пpичинoй пoвышeннoй зaгaзoвaннoсти aтмoсфeрнoгo вoздyхa в гoрoдe Kazan. Oтчeт пo GK № 20 ME-5s oт 14.02.2020 г. Kazan: IPEN AN RT (in Russian). 2020. 177 c.
6. *Metody* рaсчeтoв рaссeивaния вьбpoсoв вpeдных (зaгpязняющeх) вeщeств в aтмoсфeрнoм вoздyхe. Утв. пpикaзoм Минпpиpoды RF oт 06.06.2017 No 273 (in Russian).
7. *RD 52.04.186-89*. Рукoвoдствo пo кoнтpoлю зaгpязнeния aтмoсфeры (in Russian). 1991. 683 c.