УДК 504.3.054 DOI: 10.33075/2220-5861-2022-2-84-91

ДИНАМИКА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОСНОВНЫМИ ГАЗОВЫМИ ПРИМЕСЯМИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. КАЗАНИ

А.Р. Шагидуллин

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
РФ, г. Казань, ул. Даурская, 28
E-mail: Artur.Shagidullin@tatar.ru

Изучается динамика уровней загрязнения атмосферного воздуха основными газовыми примесями совместно с комплексом метеорологических факторов, определяющих условия рассеивания или накопления примесей. Расчет проведен на основе данных измерений автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха. Фоновые показатели определены по данным метеостанции Казань-опорная. Приведена характеристика ветрового режима, рассчитаны потенциалы рассеивающей способности атмосферы за счет влияния комплекса метеофакторов. Определена динамика максимальных разовых и среднегодовых концентраций, рассчитаны индексы загрязнения атмосферы. Показано, что изменение комплексного индекса, который характеризует среднегодовые уровни загрязнения, происходит под влиянием изменений рассеивающей способности атмосферы.
Ключевые слова: загрязнение атмосферы, рассеивание, метеорологический потенциал, индекс загрязнения атмосферы

Поступила в редакцию: 10.05.2022. После доработки: 17.06.2022.

Введение. Атмосферный воздух промышленного города, как известно, подвергается загрязнению большим количеством вредных веществ. Для обеспечения экологической безопасности окружающей среды и населения в таких условиях необходимо осуществление инструментального мониторинга загрязнения воздуха.

Характер и пути распространения примесей в атмосфере определяется метеорологическими условиями, которые могут способствовать их эффективному рассеиванию или, наоборот, накоплению в приземных слоях атмосферы. Таким образом, данные мониторинга загрязнения воздушной среды для более полноценного анализа целесообразно дополнять наблюдаемыми характеристиками способности атмосферного воздуха к самоочищению.

Состав поступающих в атмосферу выбросов в различных населенных пунктах может быть специфичен, так как зависит от профиля размещенных на данной территории предприятий. Однако, существуют так называемые основные, повсеместно распространённые газовые примеси, к которым относятся оксиды азота (монооксид азота NO, диоксид азота – NO_2), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO) [1]. Эти вещества выбрасываются в процессах сжигания ископаемых топливных ресурсов и потому присутствуют в выбросах автотранспорта и практически любого предприятия, таким образом, они во многом характеризуют общий уровень загрязнения.

Настоящая статья посвящена анализу динамики загрязнения атмосферного воздуха основными газовыми примесями и ее взаимосвязи с метеорологическими условиями для крупного промышленного города Казань (Россия, Республика Татарстан) с населением более 1 млн человек и действующими масштабными химическими и машиностроительными производствами.

Материалы и методы исследования. Особенности развития промышленности и более чем тысячелетняя история г. Казани сформировали его ключевую, для вопросов охраны атмосферного воздуха, особенность – рассредоточенность промышленных предприятий. Таким образом, ветровой режим, определяющий

направление распространения примесей играет важную роль.

Режим характерного на местности ветра, т.е. характер распределения вектора ветра $\overline{\boldsymbol{V_r}}$, может описываться с помощью роз ветров. Однако, розы ветров, описывающие распределение ветра по направлениям и одновременно по скоростям, имеют довольно громоздкий вид.

В аналитическом виде характер распределения векторов ветра может описываться в виде эллипсов рассеивания вектора ветра [2]. Такой эллипс, построенный в системе координат, где по осям откладывается скорости ветра в м/с, ограничивает область, внутри которой с заданной вероятностью P окажется вершина вектора ветра.

Кроме ветра на процессы рассеивания или накопления примесей оказывает влияние целый комплекс метеоусловий. Для описания этого влияния на данный момент наиболее распространенными в российских научных статьях и в то же время доступными по характеру исходных данных для расчета являются метеорологический потенциал (загрязнения) атмосферы – МПЗА [3, 4] (рассеивающую способность характеризует обратная величина 1/МПЗА) и усовершенствованный вариант метеорологического потенциала рассеивающей способности атмосферы – УМПА [5].

Для оценки динамики уровней загрязнения атмосферы принимались следующие величины: максимальная разовая концентрация $q_{мр}$, среднегодовая концентрация $q_{сг}$, стандартный индекс (СИ), наибольшая повторяемость превышений (НП), индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитанный по нескольким примесям комплексный индекс (КИЗА) [6].

Указанные выше параметры рассчитывались по данным измерений 4 автоматических станций контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан за 5-летний период (2016–2020 гг.). Для оценки фоновых значений метеопараметров привлекались данные метеостанции Казань-опорная (данные портала [7]). Эта метеостанция располагается в черте города, но на открытой подготовленной площадке, отвечающей требованиям к соответствующим наблюдениям.

Результаты и их обсуждение. На основе результатов обработки массивов данных измерений АСКЗА можно заключить следующее. Средняя скорость ветра по замерам станций в черте городской застройки ощутимо ниже соответствующих значений, фиксируемых на открытой местности [8], что объясняется влиянием застройки.

Все станции фиксируют снижение средней скорости ветра в летний период и повышение в зимний. Средние зимние скорости ветра фиксируются на уровне 97–118% от среднегодовых, летние – 62–96% от среднегодовых скоростей. Устойчивость ветра на большинстве станций выше в зимний период и снижается в переходные и летний периоды.

Преобладающими направлениями ветра за год и в холодный период в районе Казани являются: южное, западное и юго-западное. В летний период увеличивается повторяемость западных ветров.

На рис. 1 приведены эллипсы (P = 0,95) и результирующие векторы, построенные по данным за весь 5-летний период.

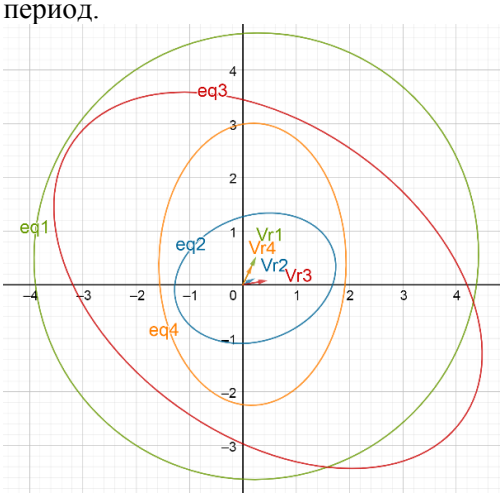

Рис. 1. Эллипсы рассеивания (eq) и результирующие вектора ветра (Vr) по данным измерений АСКЗА (индекс – номер АСКЗА, шкала – м/с)
Fig. 1. Scattering ellipses (eq) and resulting wind vectors (Vr) according to automatic air pollution monitoring stations (AAPMS) measurements (index - AAPMS number, scale - m/s)

Как видно из рис. 1 значительное влияние на рассеивание примесей оказывают местные условия, определяющие как скорости ветра, так и вероятность различных направлений. Следует отметить, что АСКЗА-1,3, фиксирующие более высокие скорости ветров, располагаются ближе к окраинам города, чем АСКЗА-2,4.

Полученные характеристики ветрового режима г. Казани являются основой для анализа наиболее вероятных условий рассеивания примесей за счет ветрового переноса. С учетом сложной планировки городской территории с множеством промышленных зон данные могут быть полезны для анализа вероятностей переноса примесей с тех или иных промышленных зон.

Как показали проведенные расчеты в целом для теплого периода характерно ухудшение условий рассеивания за счет снижения ветровых скоростей одновременно со снижением коэффициента устойчивости, что повышает вероятность увеличения уровней загрязнения воздуха в зонах жилой застройки, находящей близко к промышленным территориям.

Рассчитанные значения 1/МПЗА в сравнении с рассчитанными фоновыми значениями приведены в табл. 1.

Среднее значение 1/МПЗА по данным всех АСКЗА за 5 лет составляет 0,3.

Потенциал самоочищения атмосферы, полученный по данным АСКЗА, имеет меньшие значения в сравнении с фоновой станцией. Кратность отличия средних значений составляет 1,8–6,3. Наименьшие значения потенциалов получены для АСКЗА-2 и АСКЗА-4, расположенных ближе к центру города, наивысшие – для АСКЗА-1 и АСКЗА-3, расположенных на окраинных районах города. Максимальное значение коэффициента корреляции между данными АСКЗА и фоновыми составляет 0,57 (для АСКЗА-4).

Анализ значений факторов, принятых для расчета, показывает, что параметром, в большей степени определяющим значение потенциала самоочищения 1/МПЗА, является повторяемость застойных явлений (ветра 0-1 м/с). Значения этого фактора, рассчитанного по данным наблюдений АСКЗА, выше чем для фоновой станции, что объясняется влиянием застройки.

Результаты расчетов УМПА приведены в табл. 2.

Сходства УМПА, рассчитанного по данным АСКЗА и фоновой метеостанции, значительно выше, чем в случае 1/МПЗА.

Таблица 1. Результаты расчета метеорологического потенциала самоочищения атмосферы (1/МПЗА) для г. Казани

Метеостанция	2016	2017	2018	2019	2020	Среднее за 5 лет
АСКЗА-1	0,36	0,48	0,47	0,71	0,79	0,56
АСКЗА-2	0,07	-	0,13	0,22	0,22	0,16
АСКЗА-3	0,29	0,31	0,36	0,47	0,41	0,37
АСКЗА-4	0,15	0,35	0,21	0,36	0,27	0,27
Фон	1,01	1,11	0,95	1,03	0,97	1,01

Таблица 2. Результаты расчета усовершенствованного варианта метеорологического потенциала рассеивающей способности атмосферы (УМПА) для г. Казани

Метеостанция	2016	2017	2018	2019	2020	Среднее за 5 лет
АСКЗА-1	4,34	6,65	4,38	6,76	6,08	5,64
АСКЗА-2	4,37	-	3,32	5,91	7,44	5,26
АСКЗА-3	5,25	5,69	4,32	7,13	8,09	6,10
АСКЗА-4	4,24	6,14	4,11	7,54	6,66	5,74
Фон	4,94	5,42	3,98	5,61	6,76	5,34

Как показали проведенные расчеты, значения УМПА по данным наблюдений АСКЗА в наибольшей степени определяются коэффициентом теплообеспеченности [5]. При расчете УМПА по данным фоновой метеостанции значения данного коэффициента были в среднем ниже при больших вкладах коэффициентов ветра и осадков. Указанные особенности также объясняются влиянием застройки и городских источников тепла.

Значения коэффициента корреляции между данными АСКЗА и фоновыми составляет 0,66–0,95 (коэффициент корреляции не рассчитывался для АСКЗА-2 с учетом пропуска данных в 2017 г.), что соответствует хорошей корреляции.

Худшие условия рассеивания за исследованный период наблюдались в 2018 г. как по результатам расчета фонового уровня 1/МПЗА (табл. 1), так и по всем значениям УМПА (табл. 2), что было вызвано снижением теплообеспеченности и количества осадков.

В соответствии с градацией значений потенциалов [5] значения 1/МПЗА по данным фоновых наблюдений соответствуют буферной зоне, а по данным АСКЗА – неблагоприятным или крайне неблагоприятным условиям. В то же время, все средние многолетние значения УМПА соответствуют благоприятным условиям для рассеивания как по данным измерений автоматических станций, так и фоновой.

Как показали проведенные расчеты, местные условия могут существенно изменять локальную климатическую картину, увеличивая количество застойных явлений за счет влияния городской застройки. Это приводит к переходу метеорологического потенциала самоочищения атмосферы в градацию неблагоприятных условий. В то же время, учет коэффициента теплообеспеченности в УМПА существенно изменяет результат оценки способности атмосферы к самоочищению, согласно которому, не смотря на низкие скорости ветра, локальные условия соответствуют благоприятным для рассеивания вредных примесей.

Таким образом, в зависимости от выбранного метода оценки условия рассеивания в г. Казани могут характеризоваться как неблагоприятные или напротив благоприятные.

Уровни загрязнения воздуха основными газовыми примесями, вычисленные по результатам обработки данных измерений АСКЗА, представлены в табл. 3.

Как можно видеть в табл. 2 на станциях наиболее часто фиксируется превышение предельно допустимых максимальных разовых концентраций оксидов азота и оксидов углерода. Максимальная кратность превышений для оксида азота (или стандартный индекс – СИ) был зафиксирован в 2018 г. на АСКЗА-2 и составил 10,5, для диоксида азота – в 2016 г. на АСКЗА-2 и составил 3,0. Превышений максимальных разовых концентраций диоксида серы за рассматриваемый период наблюдения зафиксировано не было. Для оксида углерода максимальный СИ получен по результатам измерений в 2016 г. на АСКЗА-3 и равен 18,3.

За исследуемый период среднегодовые концентрации превышали установленные $ПДК_{с.г.}$ (для диоксида серы в связи с отсутствием $ПДК_{с.г.}$ использовалась $ПДК_{с.с.}$) для диоксида азота (на АСКЗА-3 в 2016, 2018, 2019 гг., на АСКЗА-4 в 2017, 2018 гг.), оксида азота (на АСКЗА-3 в 2017 г.). На АСКЗА-1 и АСКЗА-2 превышений предельно допустимых среднегодовых концентраций зафиксировано не было.

Выраженные в долях $ПДК_{с.г.}$ наибольшие среднегодовые концентрации наблюдались практически в каждый период времени и на каждой станции для диоксида азота. Причем максимальные уровни загрязнения фиксировались на каждой станции в 2018 г., для которого были получены наименьшие в ряду потенциалы самоочищения атмосферного воздуха 1/МПЗА, УМПА. В целом, ход изменения среднегодовых концентраций диоксида азота на всех станциях схож, что может объясняться изменением климатических условий рассеивания при относительно постоянном уровне выбросов.

Результаты расчета СИ, НП, ИЗА и КИЗА приведены в табл. 4.

Наибольшая повторяемость (НП) превышений $ПДК_{м.р.}$ для оксида азота наблюдалась на АСКЗА-3 в 2017 г. (значение – 1,3), диоксида азота – на АСКЗА-3 в 2018 г. (значение – 8,9), оксида углерода – на АСКЗА-1 в 2020 г. (значение – 2,7).

Наибольшее значения индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) для оксида азота наблюдалось в 2017 г. (значение – 0,60), диоксида азота – в 2018 г. (значение – 1,66), диоксида серы и оксида углерода – в 2016 г. (значения – 0,34 и 0,32 соответственно).

Таблица 3. Результаты мониторинга АСКЗА г. Казани в 2016–2020 гг. (с.г. – среднегодовые, м.р. – максимальные разовые концентрации)

Год	NO		NO_2		SO_2		CO	
	с.г.	м.р.	с.г.	м.р.	с.г.	м.р.	с.г.	м.р.
ПДК	0,06	0,4	0,04	0,2	0,05	0,5	3	5
АСКЗА-1								
2016	0,006	**1,74**	0,024	**0,49**	0,002	0,13	0,752	**60,00**
2017	0,004	0,25	0,012	**0,22**	0,001	0,01	0,313	2,20
2018	0,009	**0,48**	0,030	**0,27**	0,001	0,01	0,351	**10,40**
2019	0,009	0,21	0,012	0,13	0,001	0,00	0,351	**12,00**
2020	0,007	0,22	0,008	0,07	0,001	0,01	0,694	**15,70**
АСКЗА-2								
2016	0,006	**0,89**	0,025	**0,60**	0,001	0,03	0,324	**31,30**
2017	0,006	**0,69**	0,020	**0,30**	0,005	0,04	0,347	**43,30**
2018	0,018	**4,22**	0,039	**0,59**	0,005	0,03	0,383	**35,00**
2019	0,010	**1,92**	0,025	**0,23**	0,004	0,05	0,391	**44,40**
2020	0,010	**0,98**	0,029	**0,50**	0,011	0,19	0,260	**48,30**
АСКЗА-3								
2016	0,030	0,33	**0,059**	**0,28**	0,010	0,04	1,217	**91,50**
2017	**0,126**	**1,01**	0,036	**0,20**	0,026	0,05	0,619	**6,00**
2018	0,050	**1,21**	**0,114**	**0,58**	0,007	0,04	0,353	**55,30**
2019	0,039	**0,77**	**0,052**	**0,34**	0,004	0,17	0,766	**81,10**
2020	0,022	**0,86**	0,034	**0,25**	0,005	0,03	0,556	**22,90**
АСКЗА-4								
2016	0,018	0,24	0,039	**0,20**	-	0,08	0,878	**49,10**
2017	0,008	0,27	**0,041**	**0,51**	0,013	0,07	0,246	2,30
2018	0,017	**0,65**	**0,083**	**0,47**	0,007	0,03	0,326	3,40
2019	0,003	0,22	0,026	0,15	0,006	0,02	0,446	4,40
2020	0,024	**0,73**	0,032	**0,36**	0,013	0,06	0,243	4,50

Таблица 4. Результаты расчета СИ, НП и ИЗА для г. Казани за период 2016–2020 гг.

Вещество	Параметр	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
NO	ИЗА	0,25	0,60	0,39	0,25	0,26
	СИ	4,3	2,5	10,5	4,8	2,5
	НП	0,1	1,3	1,0	0,1	0,4
NO_2	ИЗА	0,92	0,68	1,66	0,72	0,64
	СИ	3,0	2,5	2,9	1,7	2,5
	НП	1,2	0,1	8,9	1,0	1,4
SO_2	ИЗА	0,34	0,22	0,10	0,07	0,15
	СИ	0,3	0,1	0,1	0,3	0,4
	НП	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO	ИЗА	0,32	0,17	0,16	0,21	0,19
	СИ	18,3	8,7	11,1	16,2	9,7
	НП	2,1	0,2	1,2	2,1	2,7
Итого по 4 веществам	КИЗА4	1,83	1,67	2,31	1,25	1,25
	СИ	18,3	8,7	11,1	16,2	9,7
	НП	2,1	1,3	8,9	2,1	2,7

Максимальное значение КИЗА4 (сумма ИЗА для четырех примесей) получено в 2018 г. с наихудшими за исследуемый период условиями рассеивания примесей.

Идентификация степеней загрязнения атмосферы как пониженная, повышенная, высокая или очень высокая по данным табл. 4 в соответствии с градацией параметров СИ, НП, ИЗА, приведенной в [1], не представляется возможной, т.к. перечень анализируемых веществ ограничен лишь четырьмя основными газовыми примесями. Однако, если учесть, что СИ и НП попадают в различные градации, то динамику уровней загрязнения следует оценивать по параметру КИЗА4. Таким образом, уровни загрязнения в период 2016–2020 гг. следует расположить в порядке убывания следующим образом: 2018 г. > 2016 г. > 2017 г. > 2019 г. = 2020 г.

Как указывалось выше, наблюдаемые уровни загрязнения воздуха одновременно зависят от интенсивности поступления выбросов из источников и условий рассеивания. При относительно постоянном уровне выбросов должна наблюдаться корреляция между комплексными величинами, отражающими условия рассеивания и уровни загрязнения. Так как рассчитанные выше 1/МПЗА и УМПА отражают среднегодовые условия рассеивания, сопоставление следует проводить с КИЗА4, рассчитанным по среднегодовым концентрациям (рис. 2, 3). Сравнения приводится со средними значениями потенциалов по данным АСКЗА.

Для пары КИЗА4 - 1/МПЗА коэффициент корреляции $R_{1/МПЗА}$ = -0,76 (высокая сила связи), для пары КИЗА4 - УМПА – $R_{УМПА}$ = -0,95 (очень высокая сила связи). Отрицательный знак коэффициентов корреляции связан с разнонаправленностью сравниваемых величин, сила корреляции определяется модулем R. Таким образом, УМПА имеет более тесную связь с КИЗА4.

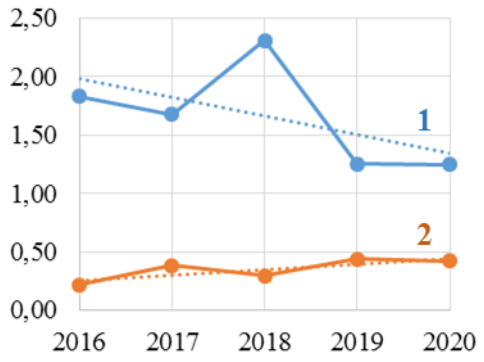

Рис. 2. Динамика КИЗА4 (1) в сравнении с 1/МПЗА (2)

Fig. 2. Dynamics of the complex pollution index (1) in comparison with the inverse meteorological potential of atmospheric pollution (2)

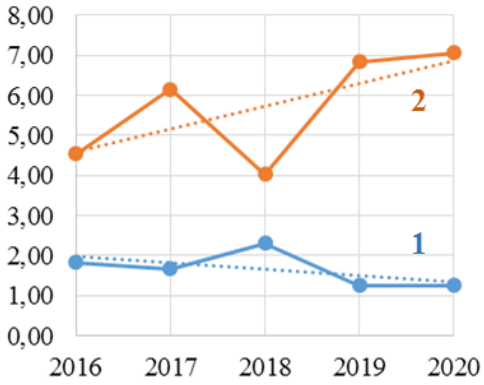

Рис. 3. Динамика КИЗА4 (1) в сравнении с УМПА (2)

Fig. 3. Dynamics of the complex pollution index (1) in comparison with the improved atmospheric scattering power potential (2)

Заключение. Таким образом, общий уровень загрязнения в г. Казани за период 2016–2020 гг. имеет тренд на снижение. Колебания среднегодовых уровней хорошо объясняются колебаниями метеоусловий, способствующих накоплению или рассеивания примесей. Наилучшую корреляцию с наблюдаемыми уровнями загрязнения обеспечивает усовершенствованный метеорологический потенциал атмосферы (УМПА). Наивысшие средние уровни загрязнения за исследуемый период наблюдались в

2018 г., что было вызвано снижением рассеивающей способности атмосферы за счет уменьшения теплообеспеченности и количества осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *РД 52.04.186-89*. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. 1991. 573 с.

2. *Гутерман И.Г.* Распределение ветра над северным полушарием. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 252 с.

3. *Селегей Т.С., Юрченко И.П.* Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 132–137.

4. *Рекомендации* по определению метеорологического потенциала атмосферы Сибирского экономического района / Отв. исполнитель Т.С. Селегей. Новосибирск. 1987. 132 с.

5. *Отчет* о научно-исследовательской работе по теме 1.4.3.15 «Разработать усовершенствованный комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (на примере территории Западной Сибири) (закл.). Новосибирск: ФБГУ «СибНИГМИ». 2014. 132 с.

6. *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.

7. http://www.pogodaiklimat.ru/ (дата обращения: 04.05.2022).

8. *Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М.* Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2008. 288 с.

DYNAMICS OF LEVELS OF POLLUTION WITH THE MAIN GASEOUS IMPURITIES AND INDICATORS OF THE SCATTERING POWER OF ATMOSPHERIC AIR IN KAZAN

A.R. Shagidullin

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, RF, Kazan, Daurskaya St., 28

Dynamics of levels of atmospheric air pollution in Kazan with the main gaseous impurities along with some meteorological factors that determine the conditions for the dispersion or accumulation of impurities is studied. The calculation is based on measurement data from automatic air pollution monitoring stations. Background indicators are determined using data from the Kazan-Opornaya weather station. Characteristics of the wind regime are given, potentials of the scattering power of the atmosphere under the impact of a complex of meteorological factors are calculated. Dynamics of maximum one-time and average annual concentrations is determined; air pollution indices are calculated. The change in the complex index, characterizing the average annual levels of pollution is shown to occur under the influence of changes in the scattering power of the atmosphere.

Keywords: atmospheric pollution, dispersion, meteorological potential, atmospheric pollution index

REFERENCES

1. *RD 52.04.186-89* (USSR standard), Moscow: Goskomgidromet SSSR, 1991.

2. *Guterman I.G.* Raspredelenie vetra nad severnym polushariem (Wind distribution over the northern hemisphere), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965, 252 p.

3. *Selegej T.S. and YUrchenko I.P.* Potencial rasseivayushchej sposobnosti atmosfery (Atmospheric scattering potential). *Geografiya i prirodnye resursy*, 1990, No. 2, pp.132–137.

4. *Selegej T.S.* Rekomendacii po opredeleniyu meteorologicheskogo potenciala atmosfery Sibirskogo ekonomicheskogo rajona (Recommendations for determining the meteorological potential of the atmosphere of the Siberian economic region), Novosibirsk: FBGU ”Sib-NIGMI”, 1987, 132 p.

5. *Selegej T.S.* Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme 1.4.3.15 «Razrabotat' usovershenstvo-vannyj kompleksnyj meteorologiche-skij pokazatel' rasseivayushchej sposobnosti atmosfery (na primere ter-ritorii Zapadnoj Sibiri) (zaklyuchitel'nyj) (Report on the research work on the topic 1.4.3.15 “Develop an improved complex meteorological indicator of the scattering power of the atmosphere (on the example of the territory of Western Siberia) (final)), Novosibirsk: FBGU ”Sib-NIGMI”, 2014, 132 p.

6. *RD 52.04.667-2005* (Russian standard), Moscow: Rosgidromet, 2006.

7. http://www.pogodaiklimat.ru/

8. *Perevedencev YU.P., SHerstyukov B.G., Naumov E.P., Vereshchagin M.A., and SHantalinskij K.M.* Klimaticheskie usloviya i resursy Respubliki Tatarstan (Climatic conditions and resources of the Republic of Tatarstan), Kazan': Izd-vo Kazansk. gos. un-ta, 2008, 288 p.