

## Информационные системы и технологии

УДК 504.3: (519.25)

DOI:10.25729/ESI.2024.36.4.013

### Обработка статистики метеорологических данных для оценки потенциала загрязнения атмосферы антропогенными выбросами в городах Ангарск, Братск, Иркутск

Плеханова Ольга Сергеевна<sup>1</sup>, Асламова Вера Сергеевна<sup>1</sup>, Асламов Александр Анатольевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения,  
Россия, Иркутск, *aslamovav@yandex.ru*

<sup>2</sup>Ангарский государственный технический университет,  
Россия, Ангарск

**Аннотация.** В статье разработана онтология самоочищающейся способности атмосферы от антропогенных загрязнителей и выявлено влияние на нее значимых факторов. По данным сайта <https://tr5.ru>, в созданной базе данных в СУБД MySQL рассчитаны и проанализированы среднегодовые и среднемесячные значения метеорологических показателей накопления загрязнения атмосферы (МПЗА), МПЗА2, МПЗА3, и показателей самоочищения атмосферы (ПСА), усовершенствованный метеорологический показатель атмосферы (УМПА) для крупных промышленных городов Ангарск, Братск, Иркутск с высоким уровнем загрязнения атмосферы за 2010-2023 годы. Показано, что с коэффициентом детерминации 95,8-99,9% вместо показателя МПЗА3 можно использовать более простой для вычисления МПЗА2, вместо сложного для вычисления показателя ПСА – применять показатель 1/МПЗА. В Иркутске в мае только в 7,1% случаев в атмосфере формируются благоприятные условия для рассеивания загрязнений, а в Ангарске и Братске благоприятных условий для их рассеивания нет.

**Ключевые слова:** метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (МПЗА), онтология факторов, регрессионная модель

**Цитирование:** Плеханова О.С. Обработка статистики метеорологических данных для оценки потенциала загрязнения атмосферы антропогенными выбросами в городах Ангарск, Братск, Иркутск / О.С. Плеханова, В.С. Асламова, А.А. Асламов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. – № 4(36). – С. 132-145. –DOI:10.25729/ESI.2024.36.4.013.

**Введение.** По данным многолетних наблюдений во многих городах Иркутской области зафиксирован высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха (ЗАВ) [1-5]. Наиболее неблагоприятная обстановка с ЗАВ складывается в городах Ангарск, Братск, Шелехов, в которых на уровне ЗАВ сильное влияние оказывают природные и климатические факторы, мешающие рассеиванию промышленных выбросов. ЗАВ устанавливалось путем сравнения фактических среднегодовых концентраций (СГК) загрязняющих веществ (ЗВ) со значениями среднегодовых ПДК<sub>сг</sub> ЗВ, максимальных разовых концентраций (МРК) ЗВ – со значениями максимальных разовых ПДК<sub>мр</sub>, наибольших из среднемесячных концентраций (НСМК) – со значениями среднесуточных ПДК [4]. В таблице 1 приведены степени превышения ПДК фактическими концентрациями ЗВ (бенз(а)пирен (БП), формальдегид (Ф), взвешенные вещества (ВВ), фенол (Фе)) в атмосфере городов Иркутской области из приоритетного списка городов РФ с наибольшим уровнем ЗАВ в 2021, 2022 годах [1, 6].

Из таблицы 1 видно, что наибольшее превышение разовых концентраций большинства ЗВ зарегистрировано в Ангарске. Следует отметить, что Братске в 2022 г. были зарегистрированы 6 случаев СИ>10 по БП, а наибольшая повторяемость превышения ПДК отмечалась для частиц РМ 2,5.

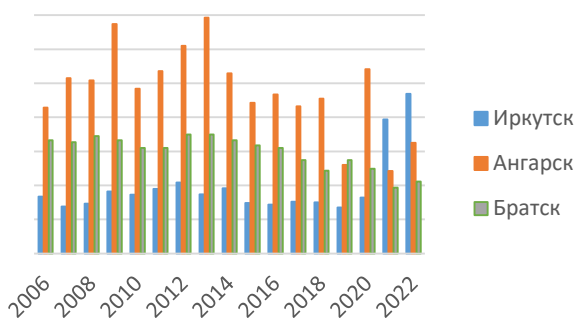
По сравнению с 2021 г. уровень загрязнения в рассматриваемых городах не изменился. Отмечается улучшение качества атмосферы в жилой зоне городов [1].

На уровень ЗАВ в рассматриваемых городах влияют промышленные предприятия, крупнейшие в РФ (Братский алюминиевый завод, завод ферросплавов ОАО «МЕЧЕЛ», Братский лесоперерабатывающий комплекс, АО «Ангарская нефтехимическая компания»), ТЭЦ, котельные и автотранспорт [1, 3-5].

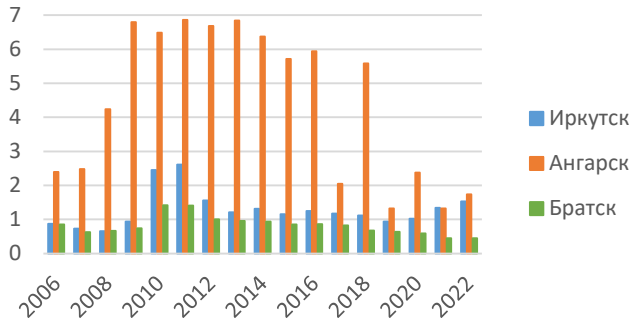
Сравним динамику объемов выбросов основных загрязняющих веществ (ЗВ), таких, как: взвешенные частицы, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> в промышленных городах Иркутск, Ангарск и Братск (см. рисунки 1-4).

**Таблица 1.** Состояние ЗАВ в 2022 г. в городах ИО

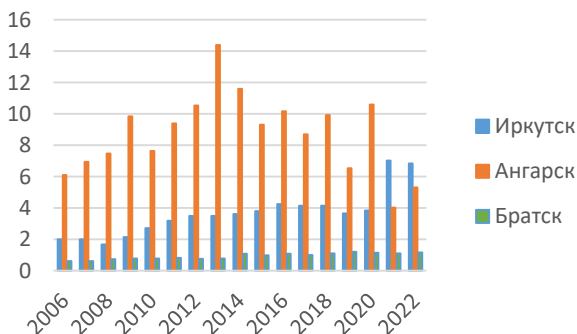
Город	Ангарск	Иркутск	Братск
Уровень ЗАВ	высокий	высокий	очень высокий
Максимальный вклад в ЗАВ	БП, Ф, ВВ	БП, ВВ, Ф, NO <sub>2</sub> , озон	БП, Ф
МРК/ПДК <sub>мр</sub>			
SO <sub>2</sub>	4,1	2,2	1,2
NO <sub>2</sub>	5,2	2,9	1,8
CO	3,4	2,0	2,0
ВВ	6,4	1,4	2,1
PM10	3,0	3,0	2,8
PM2,5	2,3	2,7	3,0
Ф	1,6	1,7	1,5
Фе	1,3		
СГК/ПДК <sub>сг</sub>			
БП	2,6	2,6	7,2
Ф	2	2,7	3,3
NO <sub>2</sub>		1,3	
ВВ		2,0	
НСМК/ПДК <sub>сс</sub>			
БП	8,8	7,0	33,7
Ф		2,1	



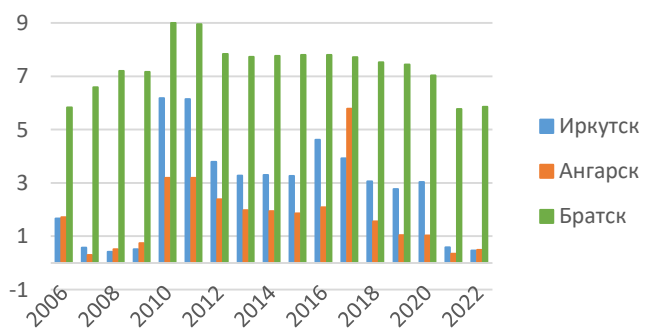
**Рис. 1.** Динамика выбросов взвешенных частиц, тыс. т.



**Рис. 2.** Динамика выбросов NO<sub>2</sub>, тыс. т.



**Рис. 3.** Динамика выбросов SO<sub>2</sub>, тыс. т.



**Рис. 4.** Динамика выбросов CO, тыс. т.

Видно, что до 2020 г. по выбросам взвешенных частиц,  $SO_2$ ,  $NO_2$  лидировал г. Ангарск. В 2021, 2022 гг. больший объем выбросов, взвешенных частиц и  $SO_2$  наблюдался в Иркутске. Наибольший объем выбросов  $CO$  характерен для Братска. При такой экологической обстановке исследование самоочищающей способности атмосферы (ССА) актуально. Об актуальности исследования говорит включение 5 городов Иркутской области (Ангарск, Братск, Вихоревка, Усолье-Сибирское, Шелехов) в приоритетный список городов Иркутской области с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха (индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) не менее 14) [7].

**Цель работы:** онтологическое моделирование процессов самоочищения и рассеивания ЗВ атмосферой, исследование в СУБД MySQL различных моделей загрязнения и рассеивания ЗВ атмосферой городов Ангарска, Братска и Иркутска по метрологическим данным сайта <https://rp5.ru> и их анализ.

**1. Онтологическое моделирование процессов самоочищения и рассеивания ЗВ атмосферой.** Известно, что на качество атмосферного воздуха (АВ) влияют не только объемы промышленных выбросов ЗВ, но и технические характеристики источников выбросов, планировка населенных пунктов, физико-химические процессы, метеорологические и топографические условия, климатообразующие и орографические факторы, которые способствуют эффективному рассеиванию ЗВ или их накоплению в околосредних слоях АВ [6, 8-17]. На рис. 5 представлена онтология факторов, влияющих на ССА.

Самоочищение атмосферы в приземном слое определено комплексным воздействием процессов: поступление ЗВ, их виды и объемы; физические процессы (перенос ЗВ и рассеивание за счет адвекции (горизонтального перемещения) и конвекции (вертикального движения) воздушных масс, оседание под действием гравитации); химические и фотохимические реакции (преобразование ЗВ под воздействием солнечной радиации, кислорода, атмосферных окислителей); температурная стратификация; вымывание ЗВ осадками и туманами, адсорбция их подстилающей поверхностью [8, 13, 15-19]. Влияние температурной стратификации на ССА неоднозначно. Самой неблагоприятной для рассеивания ЗВ является инверсия, но приподнятая инверсия может повышать ССА, если источник ЗВ расположен выше ее нижней границы [6]. Таким образом, скорость и интенсивность протекания перечисленных процессов в значительной степени зависят от ССА, объемов и вида примесей, от технических характеристик источников выбросов, климатических и метеорологических факторов [9-14, 20, 21]. По мнению В.В. Крючкова (1979), при сочетании средней годовой скорости ветра менее 3 м/с, повторяемости штилей более 50 %, характеризующих застойные явления, и наименьшей суммы осадков (менее 300 мм) самоочищения атмосферы практически не происходит [20]. Ее самоочищение начинает проявляться с усилением скорости ветра, уменьшением повторяемости штилей и повышением количества осадков. В городских условиях на рассеивание ЗВ значительно влияют планировка улиц, их направление и ширина, высота зданий. Распространению ЗВ способствуют вертикальные упорядоченные движения, вызванные неоднородностью подстилающей поверхности [11]: так, поверхностям на крутых склонах и возвышенностях присуща средняя ССА, а территория долин межгорных понижений и рек характеризуется повышенным уровнем загрязнения АВ [22]. В сибирских территориально-промышленных центрах зимой при антициклональном типе погоды часто формируется «остров тепла», с устойчивым потоком АВ к центру «острова», в результате чего ЗВ концентрируется преимущественно именно в нём [6, 8].

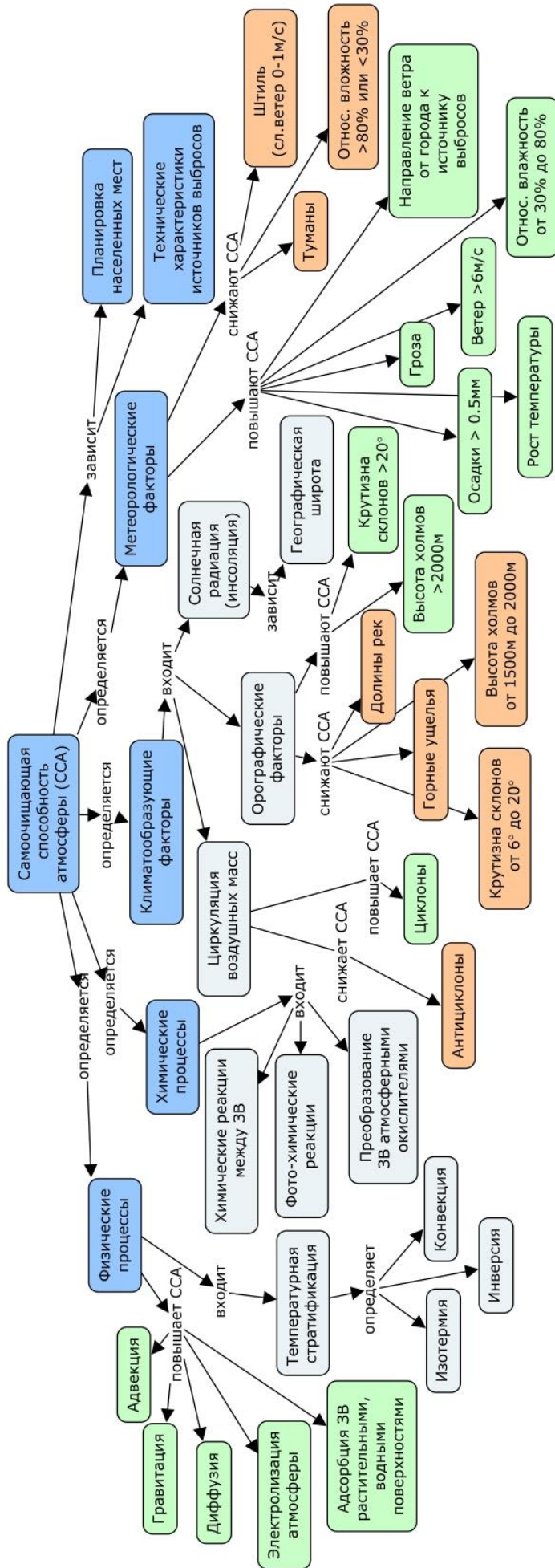


Рис. 5. Онтология факторов, влияющих на ССА

**2. Количественные оценки способности атмосферы к самоочищению или загрязнению.** Существует множество математических моделей определения потенциала загрязнения АВ, но, поскольку Росгидромет не проводит оперативные замеры всех параметров, используемых этими моделями, максимальное распространение обрели методики, которые используют общедоступные метеорологические параметры и без затруднений адаптируются к любой территории [11].

Среднегодовые метеорологические показатели загрязнения атмосферы (МПЗА, МПЗА2, МПЗА3, усовершенствованный УМПА) и показатель самоочищения атмосферы (ПСА, 1/МПЗА) Иркутска, Ангарска, Братска за период с 2010 по 2023 годы вычислялись по данным сайта [22] в созданной БД (СУБД MySQL). Объем обработанных метеорологических данных (строк в базе) составил для Ангарска – 33825, Братска – 40849, Иркутска – 40851. Среднегодовые значения исследуемых показателей находились в среднеинтегральном смысле, то есть в виде отношения накопленной суммы наблюдений соответствующих событий за все месяцы года к общему числу измерений в рассматриваемом году. Среднемесячные значения показателей также вычислялись в среднеинтегральном смысле, как отношение накопленной суммы наблюдений соответствующих событий за рассматриваемый месяц разных годов к общему числу измерений за это же время наблюдений.

Расчетные формулы показателей оценки процессов загрязнения и рассеивания ЗВ атмосферой представлены в таблице 2. Обозначено: частота наблюдения осадков более 0,5 мм –  $P_o$ , не менее 10 мм –  $P_{o \geq 10}$ ; частота наблюдения относительной влажности АВ не более 30% –  $P_{вл \leq 30}$ , не менее 80% –  $P_{вл \geq 80}$ ;  $P_r$  – частота наблюдения грозы; частота случаев скоростей ветра не менее 6 м/с –  $P_v$ ; частота штиля при слабом ветре не более 1 м/с –  $P_{ш}$ ;  $K_t$  – коэффициент теплообеспеченности года;  $K_v$  – годовой коэффициент ветра;  $K_o$  – годовой коэффициент осадков.

**Таблица 2.** Расчетные формулы показателей

Формула показателя	Интервал	Характеристика ССА	Ис-точ-ник
Модели оценки метеорологического потенциала загрязнения атмосферы (МПЗА)			
$МПЗА = \frac{P_{ш} + P_r}{P_o + P_v}$	$МПЗА < 0,8$	хорошие условия для рассеивания ЗВ	[10]
	$0,8 \leq МПЗА < 1,2$	зона риска, где равны вероятности накопления ЗВ и рассеивания ЗВ	
	$1,2 \leq МПЗА < 2,4$	неблагоприятные условия для рассеивания ЗВ	
	$МПЗА \geq 2,4$	крайне неблагоприятные условия для рассеивания ЗВ	
$МПЗА2 = \frac{P_{ш} + P_r + P_{вл \geq 80}}{P_o + P_v + P_r}$	$МПЗА2 < 0,8$	хорошие условия для рассеивания ЗВ	[24]
	$МПЗА2 = 0,8 - 1,0$	преобладают процессы накопления ЗВ или с одинаковой частотой идут процессы рассеивания и накопления ЗВ	
	$МПЗА2 = 1,0 - 1,2$	с равной частотой идут процессы накопления и рассеивания ЗВ или преобладают процессы накопления ЗВ	
	$МПЗА2 > 1,2$	преобладают процессы накопления ЗВ	

$\text{МПЗА3} = \frac{P_{\text{ш}} + P_{\text{т}} + P_{\text{вл}\geq 80} + P_{\text{вл}\leq 30}}{P_{\text{о}} + P_{\text{в}} + P_{\text{г}} + P_{\text{о}\geq 10\text{мм}}}$	Idem МПЗА2	Idem МПЗА2	[24]
Модели оценки потенциала самоочищения атмосферы (ПСА, 1/МПЗА, УМПА)			
$\text{ПСА} = \frac{P_{\text{о}} + P_{\text{в}} - P_{\text{о}}P_{\text{в}}}{P_{\text{ш}} + P_{\text{т}} - P_{\text{ш}}P_{\text{т}/\text{ш}}}$	Не указан		[11]
$1/\text{МПЗА} = \frac{P_{\text{о}} + P_{\text{в}}}{P_{\text{ш}} + P_{\text{т}}}$	$1/\text{МПЗА} > 1,25$	хорошие условия для рассеяния ЗВ	Определено из интервала МПЗА
	$0,83 \leq \frac{1}{\text{МПЗА}} < 1,25$	зона риска, где равны вероятности накопления ЗВ и рассеивания ЗВ	
	$0,42 < 1/\text{МПЗА} < 0,83$	неблагоприятные условия для рассеяния ЗВ	
	$1/\text{МПЗА} \leq 0,42$	крайне неблагоприятные условия для рассеяния ЗВ	
Усовершенствованный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы $\text{УМПА} = K_t + K_v + K_o = \exp(0,176t_{cp}) + \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{ш}}} + \frac{O_{\text{г}}}{400}$	$\text{УМПА} < 2$	крайне неблагоприятными условиями рассеивания ЗВ	[25]
	$2 \leq \text{УМПА} < 3$	неблагоприятные условия для рассеивания ЗВ	
	$\text{УМПА} \geq 3$	благоприятные условия для рассеивания ЗВ	

В таблицах 3-5 приведены значения параметров показателей из табл. 2 для рассматриваемых городов.

**Таблица 3.** Значение параметров показателей, указанных в табл. 2, для г. Ангарск

Год	$P_{\text{ш}}$	$P_{\text{в}}$	$P_{\text{о}}$	$P_{\text{т}}$	$P_{\text{т}/\text{ш}}$	$P_{\text{вл}\geq 80}$	$P_{\text{г}}$	$P_{\text{вл}\leq 30}$	$P_{\text{о}\geq 10}$	$K_t$	$K_o$	$K_v$
2010	0,4421	0,0186	0,6293	0,077	0,006	0,42	0,099	0,029	0,129	1,084	1,246	0,042
2011	0,5233	0,009	0,6304	0,117	0,008	0,491	0,073	0,038	0,08	1,194	0,941	0,017
2012	0,5613	0,0099	0,4641	0,078	0,006	0,537	0,096	0,02	0,059	0,783	1,261	0,018
2013	0,4655	0,0091	0,2197	0,031	0,002	0,507	0,078	0,043	0,013	0,717	0,412	0,020
2014	0,5278	0,0075	0,2548	0,101	0,007	0,47	0,091	0,047	0,036	1,066	0,931	0,014
2015	0,4620	0,0072	0,2251	0,012	0,001	0,376	0,096	0,09	0,016	1,07	0,337	0,016
2017	0,5970	0,0067	0,4762	0,019	0,002	0,449	0	0,002	0	0,957	0,158	0,011
2018	0,5221	0,0057	0,3104	0,069	0,005	0,323	0,079	0,047	0,014	1,021	0,888	0,011
2019	0,5409	0,0043	0,259	0,132	0,009	0,38	0,079	0,076	0,03	1,115	1,264	0,008
2020	0,5217	0,0045	0,2896	0,092	0,006	0,416	0,107	0,059	0,041	1,293	1,465	0,009
2021	0,5375	0,0052	0,3233	0,056	0,004	0,452	0,019	0,031	0,058	1,057	1,690	0,010
2022	0,5716	0,0047	0,2707	0,076	0,005	0,488	0,101	0,053	0,022	0,979	0,908	0,008
2023	0,6292	0,0021	0,2727	0,083	0,003	0,456	0,021	0,025	0,034	1,201	0,295	0,003

**Таблица 4.** Значение параметров показателей, указанных в табл. 2, для г. Братск

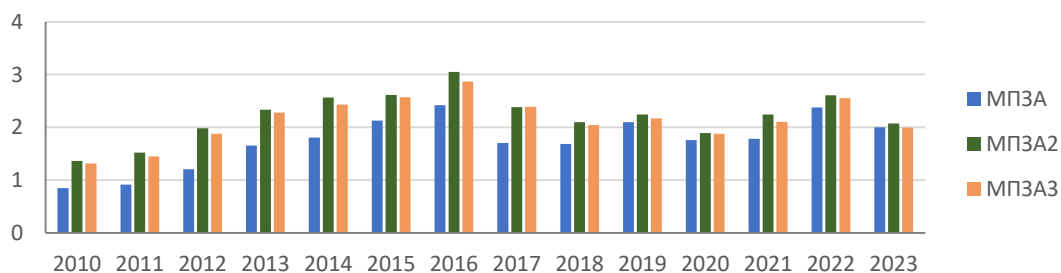
Год	$P_{\text{ш}}$	$P_{\text{в}}$	$P_{\text{о}}$	$P_{\text{т}}$	$P_{\text{т}/\text{ш}}$	$P_{\text{вл}\geq 80}$	$P_{\text{г}}$	$P_{\text{вл}\leq 30}$	$P_{\text{о}\geq 10}$	$K_t$	$K_o$	$K_v$
2010	0,4615	0,0513	0,4905	0,031	0,003	0,496	0,070	0,002	0,034	0,651	1,020	0,111
2011	0,4954	0,0348	0,4907	0,072	0,006	0,474	0,076	0,003	0	1,118	0,611	0,07
2012	0,5069	0,0255	0,4982	0,092	0,009	0,545	0,112	0,009	0,025	0,792	1,026	0,05
2013	0,4416	0,063	0,3507	0,036	0,003	0,494	0,090	0,002	0,005	0,997	0,777	0,143
2014	0,4137	0,0555	0,3104	0,03	0,003	0,405	0,110	0,007	0,008	1,123	0,914	0,134
2015	0,3505	0,0666	0,3022	0,043	0,004	0,419	0,091	0,012	0,019	1,444	0,966	0,19

2016	0,4856	0,0239	0,2978	0,087	0,008	0,449	0,065	0,015	0,008	1,022	0,684	0,049
2017	0,5310	0,0247	0,3342	0,052	0,004	0,451	0,072	0,018	0,019	1,201	1,018	0,046
2018	0,5666	0,0212	0,3205	0,038	0,003	0,373	0,087	0,011	0,022	0,945	1,001	0,037
2019	0,5631	0,0226	0,2904	0,07	0,006	0,358	0,103	0,022	0,025	1,129	0,948	0,04
2020	0,5167	0,029	0,3415	0,029	0,003	0,335	0,116	0,039	0,016	1,438	1,025	0,056
2021	0,5450	0,025	0,3233	0,046	0,004	0,276	0,073	0,016	0,014	1,007	0,707	0,046
2022	0,5739	0,0158	0,3671	0,041	0,004	0,386	0,110	0,027	0,036	1,024	1,282	0,027
2023	0,5890	0,0274	0,2986	0,051	0,005	0,382	0,087	0,021	0,014	1,129	0,735	0,047

**Таблица 5.** Значение параметров показателей, указанных в табл. 2, для г. Иркутск

Год	$P_{ш}$	$P_{в}$	$P_{о}$	$P_{т}$	$P_{т/ш}$	$P_{вл \geq 80}$	$P_{г}$	$P_{вл \leq 30}$	$P_{о \geq 10}$	$K_t$	$K_o$	$K_v$
2010	0,3386	0,0121	0,5155	0,109	0,01	0,359	0,062	0,03	0,046	0,948	0,970	0,036
2011	0,3743	0,012	0,5562	0,146	0,011	0,436	0,059	0,05	0,067	1,293	1,052	0,032
2012	0,4105	0,0145	0,427	0,123	0,011	0,465	0,061	0,033	0,045	1,040	1,191	0,035
2013	0,3395	0,011	0,2658	0,119	0,01	0,42	0,099	0,034	0,025	1,325	0,824	0,032
2014	0,3755	0,014	0,2795	0,156	0,012	0,427	0,08	0,044	0,038	1,430	1,001	0,037
2015	0,4049	0,0075	0,25	0,143	0,012	0,394	0,102	0,055	0,027	1,737	0,967	0,019
2016	0,5193	0,0034	0,2596	0,117	0,011	0,355	0,062	0,06	0,041	1,299	1,484	0,007
2017	0,4743	0,0038	0,3041	0,051	0,004	0,36	0,064	0,055	0,022	1,607	1,063	0,008
2018	0,4438	0,0045	0,3151	0,095	0,008	0,331	0,095	0,034	0,027	1,264	1,179	0,01
2019	0,4728	0,0051	0,2658	0,096	0,007	0,286	0,11	0,055	0,038	1,483	1,188	0,011
2020	0,4628	0,0034	0,2951	0,063	0,005	0,286	0,131	0,061	0,036	1,651	1,396	0,007
2021	0,461	0,0058	0,3123	0,107	0,008	0,28	0,06	0,041	0,044	1,339	1,484	0,013
2022	0,5687	0,0024	0,2822	0,108	0,009	0,291	0,087	0,049	0,027	1,412	0,967	0,004
2023	0,5176	0,0038	0,3178	0,127	0,01	0,223	0,096	0,065	0,049	1,404	1,499	0,007

При обработке измерений полагали, что к состоянию штиля относится и состояние слабого ветра, скорость которого не превышает 1 м/с, т.е. в моделях заменяли его на более значимый  $P_{ш}$ . На рис. 6-9 показана динамика годовых показателей загрязнения АВ рассматриваемых городов ЗВ. За 2016 г. по г. Ангарск не приведены данные по осадкам, поэтому на рис. 7 имеется пропуск.



**Рис. 6.** Динамика показателей загрязнения АВ загрязнителями в г. Иркутск

Как видно из рис. 6-8, что, начиная с 2012 г., значения МПЗА, МПЗА2, МПЗА3 превышают 0,8, что свидетельствует об отсутствии благоприятных условий для рассеивания ЗВ. Наблюдается также близость значений МПЗА2 и МПЗА3 для всех рассматриваемых городов. Поэтому можно при исследовании использовать более простой показатель МПЗА2 [23].

Оценим степень близости показателей по регрессии:

$$МПЗА2 = a + bМПЗА3. \tag{1}$$

Регрессии получали в пакете Statgraphics Plus. Об адекватности регрессий судили по критерию: коэффициенту детерминации  $R^2$ , который иллюстрирует процент рассчитанных данных,

описываемых регрессией; скорректированному коэффициенту детерминации  $R_c^2$ , используемый для оценки тесноты связи между зависимой и независимой переменными; отсутствие автокорреляции устанавливали по коэффициенту Дарбина-Уотсона (ДУ), точность регрессии устанавливали по абсолютной ( $\Delta$ ) и среднеквадратической ( $\sigma^2$ ) ошибкам.

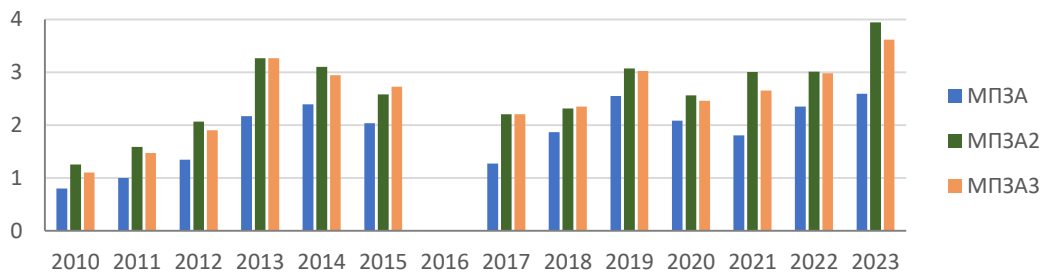


Рис. 7. Динамика показателей загрязнения АВ загрязнителями в г. Ангарск

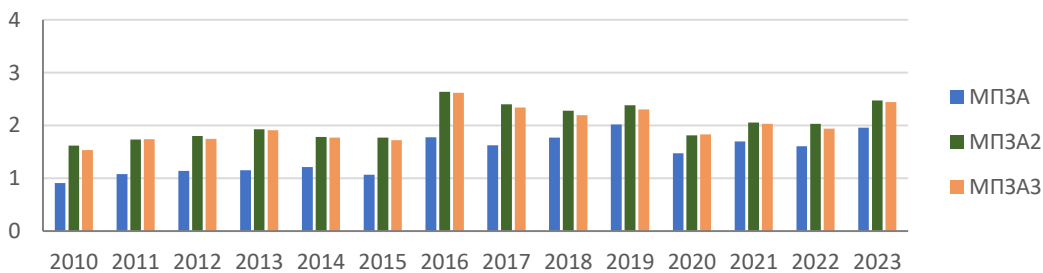


Рис. 8. Динамика показателей загрязнения АВ загрязнителями в г. Братск

Критерии адекватности модели (1) и значения параметров регрессии приведены в табл. 6.

Таблица 6. Критерии адекватности модели (1)

Город	$a$	$b$	$R^2, \%$	$R_c^2, \%$	ДУ	$\sigma^2$	$\Delta$
Ангарск	-0,1740	1,0018	99,9877	99,9866	1,9113	0,1568	0,1186
Братск	0,3302	0,8594	95,7926	95,4689	2,1632	0,1476	0,088
Иркутск	0,0693	0,9202	99,3949	99,3484	1,8081	0,0567	0,0405

На рис. 9, в качестве примера, представлена модель (1) для г. Иркутск. Видно, что в 99,4% случаев действительно можно для расчета загрязнения атмосферы использовать показатель МПЗА2 и не учитывать используемые в МПЗА3 параметры, редкие в условиях резко континентального климата Восточной Сибири события  $P_{вл \leq 30}$  и  $P_{o \geq 10}$ , т.к. в суммарном объёме их влияние на показатель мало. Для регионов с преимущественно сухим климатом, либо с регулярными и существенными осадками (полупустынный, горный, мягкий и умеренно континентальный, муссонный) события  $P_{вл \leq 30}$  и  $P_{o \geq 10}$  получают более весомую числовую оценку, и тогда показатель МПЗА3, скорей всего, получит более respectable значимость по сравнению с МПЗА2.



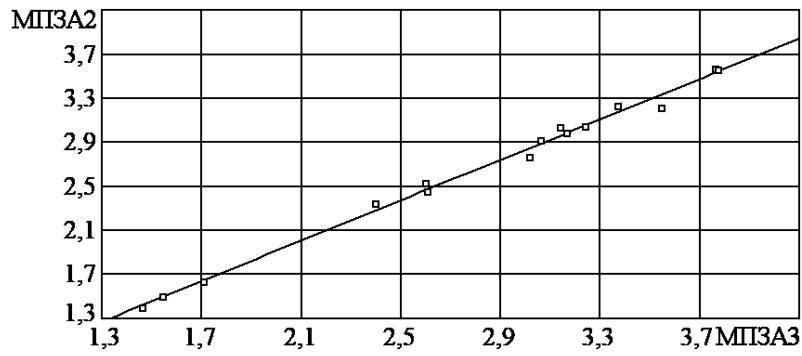


Рис. 9. Модель (1) для г. Иркутск

На рис. 10, 11 представлены динамика среднемесячных значений показателей ПСА,  $1/MPZA$  для рассматриваемых городов соответственно.

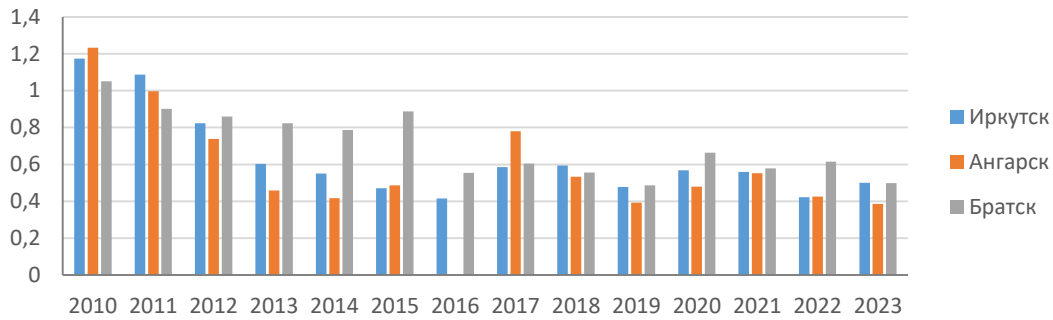


Рис. 10. Динамика показателей ПСА городов

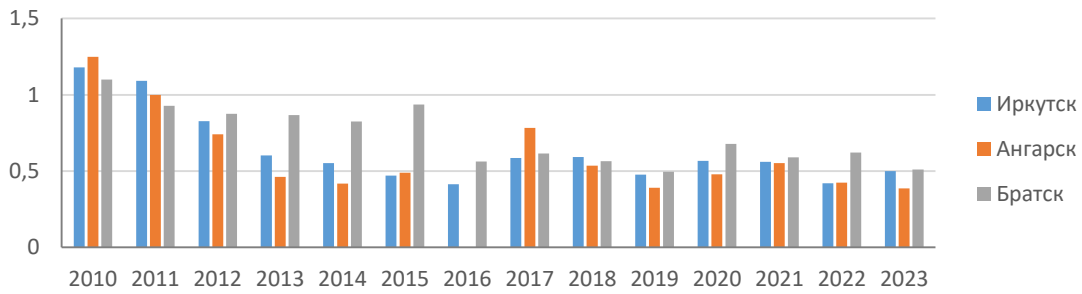


Рис. 11. Динамика показателя  $1/MPZA$  городов

На рис. 12 представлена динамика показателя УМПА городов.

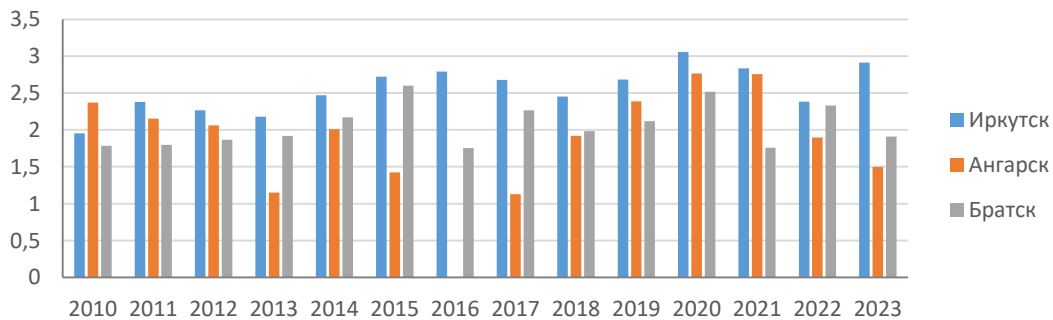


Рис. 12. Динамика показателя УМПА городов

Из сопоставления рис. 10 и 12 видно, что УМПА характеризуется более высокими значениями, чем ПСА, так как УМПА учитывает влияние:

- коэффициента теплообеспеченности  $K_t$ , который характеризует продолжительность холодного периода года по сравнению с теплым периодом. Если  $K_t < 1$ , то продолжительность холодного периода преобладает над продолжительностью теплого. Если  $K_t > 1$ , то

теплый период продолжительнее холодного. Чем меньше значение  $K_t$ , тем хуже условия для рассеивания ЗВ [24];

- отношения годовой суммы осадков  $O_r$ , мм к норме количества осадков, необходимых для очищения атмосферы (400 мм).

В табл. 7 указаны среднегодовые значения параметров, определяющих УМПА, % по городам.

Из табл. 7 следует, что в 85,71% случаев в Иркутске складывается неблагоприятные условия для рассеивания ЗВ, обусловленные малым значением коэффициента  $K_t$  и осадками менее 1 мм, что не способствует выносу ЗВ из города и их рассеиванию. При этом наблюдалась частая повторяемость штилей (см. таблицу 5), которые приводят к застойным ситуациям и увеличению загрязнения атмосферы.

**Таблица 7.** Среднегодовые значения параметров, определяющих УМПА, % по городам

Условия для рассеивания ЗВ	Диапазон параметров	Ангарск,%	Братск,%	Иркутск,%
крайне неблагоприятные	УМПА < 2	46,15	57,14	7,14
	$K_t < 0,3$	0	0	0
	$K_v < 0,5$	100	100	100
	$K_o < 0,5$	30,77	0	0
неблагоприятные:	$2 \leq \text{УМПА} < 3$	53,85	42,86	85,71
	$0,3 \leq K_t \leq 1$	30,77	28,57	7,14
	$0,3 < K_v < 1$	0	0	0
	$0,5 \leq K_o < 1$	30,77	57,14	28,57
благоприятные	УМПА $\geq 3$	0	0	7,14
	$K_t > 1$	69,23	71,43	92,86
	$K_v \geq 1$	0	0	0
	$K_o \geq 1$	38,46	42,86	71,43

Что касается Ангарска и Братска, то в этих городах благоприятных значений  $K_v$  для рассеивания ЗВ нет. В рассматриваемых городах значение  $K_v$  мало (не превышает 0,19), что не способствует рассеиванию ЗВ. Видно, что в рассматриваемых городах характер ССА – неустойчивый, наблюдается процесс снижения способности очищения АВ. С 2018 г. в Ангарске более низкий уровень ССА по сравнению с Иркутском и Братском.

Рис. 10 и 11 свидетельствуют, что значения ПСА и 1/МПЗА достаточно близки. В работе [11] предлагается использовать вместо показателя ПСА величину 1/МПЗА, в формулу расчета которой входит меньшее число параметров. Проверим эту возможность на модели регрессии (2):

$$\text{ПСА} = a + b(1/\text{МПЗА}). \quad (2)$$

Критерии адекватности модели (2) и значения параметров регрессии приведены в табл. 4. На рис. 13, в качестве примера, представлена модель (2) для г. Ангарск. Видно, что в 99,99% случаев действительно можно для расчета ССА использовать вместо показателя ПСА более простой показатель 1/МПЗА, вычисляя который, просто следует поменять местами знаменатель и числитель в МПЗА.

**Таблица 4.** Критерии адекватности модели (2)

Город	$a$	$b$	$R^2, \%$	$R^2_c, \%$	ДУ	$\sigma^2$	$\Delta$
Ангарск	0,0015	0,9976	99,9906	99,9897	1,8585	0,0036	0,0025
Братск	0,0075	0,9825	99,8692	99,8591	1,2835	0,0096	0,0066
Иркутск	-0,0002	1,0039	99,9955	99,9952	1,9070	0,0026	0,0019

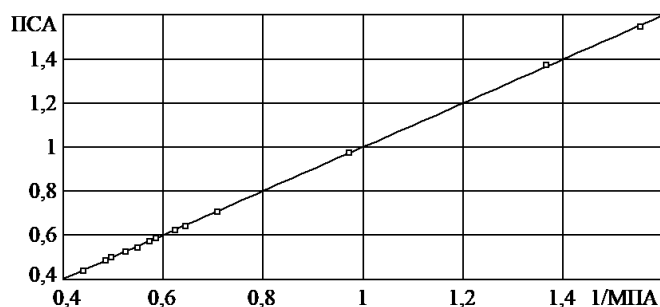


Рис. 13. Модель (2)

На рис. 14 приведены среднемесячные показатели МПЗА по городам.

В зимний и осенний периоды времени более высокие значения МПЗА (неблагоприятные условия для рассеивания ЗВ) в Ангарске, что объясняется большими значениями вероятности штиля и меньшими значениями вероятности осадков, чем в Иркутске и Братске. Лишь в ноябре и декабре в Братске, в мае в Иркутске и Ангарске процессы способствуют самоочищению атмосферы от ЗВ благодаря увеличению частоты  $P_v$  ( $МПЗА < 1$ ).

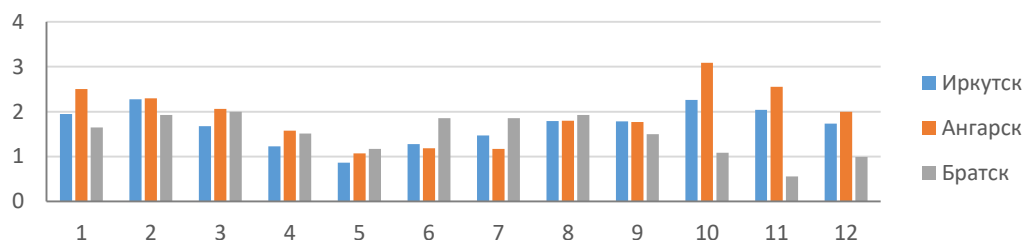


Рис. 14. Среднемесячные показатели МПЗА по городам

**Заключение.** Анализ полученных результатов показывает неутешительную статистику по чистоте атмосферы в городах ИО. С одной стороны, усиливается техногенное давление на атмосферные процессы, так как, по данным [25], индекс промышленного производства по Иркутской области с 2010 г. устойчиво держится свыше 100 %. С другой стороны, выявлено, что ослабевают ССА. Последнее подтверждается исследованиями [11]. Такие выводы актуализируют развитие экологически чистых технологий и экологических природовосстановительных программ.

#### Список источников

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2022 году». – Иркутск: ООО «Максима», 2023. – 285 с.
2. Распоряжение Правительства РФ № 1852-р от 07.07.2022. Дата введения 01.09.2023.
3. Асламова В.С. Регрессионные модели оценки комплексного техногенного загрязнения атмосферы городов Иркутского региона / В.С. Асламова, О.В. Плеханова, А.А. Асламов // Математические методы в технологиях и технике, 2023. – № 8. – С. 62-65.
4. Асламова В.С. Регрессионные модели оценки атмосферных выбросов загрязняющих веществ в городах Братск и Черемхово / В.С. Асламова, О.В. Плеханова, А.А. Асламов // Математические методы в технологиях и технике, 2023. – № 11. – С. 80-83.
5. Асламова В.С. Регрессионные модели оценки атмосферных выбросов загрязняющих веществ в городах Иркутск и Ангарск / В.С. Асламова, О.В. Плеханова, А.А. Асламов // Образование - наука - производство. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Чита, 2023. – С. 212-217.
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. Дата введения 2006.02.01.
7. Город Братск – участник национального проекта «Экология» федерального проекта «Чистый воздух». – URL: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=424> (дата обращения: 10.03.2024).

8. Асламова В.С. Онтологическое моделирование предметной области «антропогенное загрязнение атмосферного воздуха» / В.С. Асламова, О.С. Плеханова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. – № 1 (33). – С. 40-49. – DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.004.
9. Селегей Т.С. Потенциал рассеивающей способности атмосферы / Т.С. Селегей, И.П. Юрченко // География и природные ресурсы, 1990. – № 2. – С. 132-137.
10. Селегей Т.С. О методике определения метеорологического потенциала загрязнения атмосферы / Т.С. Селегей, Н.Н. Филоненко, Т.Н. Ленковская // Оптика атмосферы и океана, 2015. – Т. 28. – № 8. – С. 725-729. – DOI:10.15372/AOO20150808.
11. Аргучинцева А.В. Потенциал самоочищения атмосферы / А.В. Аргучинцева, Е.А. Кочугова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2019. – Т. 27. – С. 3-15.
12. Шагидуллин А.Р. Динамика уровней загрязнения основными газовыми примесями и показателей рассеивающей способности атмосферного воздуха в г. Казани / А.Р. Шагидуллин // Системы контроля окружающей среды, 2022. – № 2 (48). – С. 84-91.
13. Осипова О.П. Метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы / О.П. Осипова // География и природные ресурсы, 2020. – № 1. – С. 185-190.
14. Аргучинцева А.В. Климатические особенности рассеивающей способности атмосферы в котловине озера Байкал / А.В. Аргучинцева, С.Ж. Воложжина // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2010. – Том 3. – № 1. – С. 3-17.
15. Корытный Л.М. Природно-климатические факторы экологической безопасности в контексте социально-экономического развития Байкальского региона / Л.М. Корытный, Л.Б. Башалханова, В.Н. Веселова и др. // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2018. – Т. 25. – С. 88-106. – DOI:10.26516/2073-3402.2018.25.88.
16. Хаширова Т.Ю. Моделирование загрязненности атмосферного воздуха / Т.Ю. Хаширова, Г.А. Акбашева, О.А. Шакова, Е.А. Акбашева // Фундаментальные исследования, 2017. – № 8. – С. 325-330.
17. Miao Y, Zhang G, Li X., Xue C. Editorial: Physical and chemical processes within the planetary boundary layer and their impacts on air pollution. *Front. Environ. Sci.*, 2023, DOI:10.3389/fenvs.2023.1221546.
18. Рассеивание примесей в атмосфере. – URL: <https://ecoproverka.ru/rasseivanie-primesej-v-atmosfere/> (дата обращения: 14.04.2024).
19. Велиева Н.А. Очистка атмосферы от выбросов / Н.А. Велиева // Современные научные исследования и инновации, 2021. – № 11. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/11/97040> (дата обращения: 03.06.2024).
20. Крючков В.В. Природа и человек / В.В. Крючков. – М.: Наука, 1979. – 127 с.
21. Ахтиманкина А.В. Исследование рассеивающей способности атмосферы Иркутской области / А.В. Ахтиманкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2016. – Т. 15. – С. 15-27.
22. Сайт ООО «Расписание Погоды». – URL: <https://rp5.ru>.
23. Трофимец Л.Н. Метеорологический потенциал в изменяющихся условиях увлажнения / Л.Н. Трофимец, А.В. Тарасов // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: естественные, технические и медицинские науки, 2009. – № 2. – С. 168-175.
24. Отчет о НИР 1.4.3.15 ФБГУ СибНИГМИ, рук. Селегей Т.С., Новосибирск, 2014. – 132 с.
25. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. Промышленное производство. – URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/169004> (дата обращения: 22.06.2024).

**Плеханова Ольга Сергеевна.** Соискатель, ассистент кафедры Информационные системы и защита информации Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), AuthorID: 641329, SPIN: 2708-5758, ORCID: 0000-0001-6297-8870, [plekhanova\\_os@bk.ru](mailto:plekhanova_os@bk.ru), 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

**Асламова Вера Сергеевна.** Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры Техносферная безопасность Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), AuthorID:683194, SPIN: 3063-0626, ORCID: 0000-0003-3306-0651, [aslamovav@yandex.ru](mailto:aslamovav@yandex.ru), 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

**Асламов Александр Анатольевич.** Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры Машины и аппараты химических производств Ангарского государственного технического университета, AuthorID:504134, SPIN:7550-9381, ORCID: 0009-0009-6548-8848, [aaa\\_mx@angtu.ru](mailto:aaa_mx@angtu.ru).

UDC 504.3: (519.25)

DOI:10.25729/ESI.2024.36.4.013

## Processing statistics of meteorological data to assess the potential for air pollution by anthropogenic emissions in the cities of Angarsk, Bratsk, Irkutsk

Olga S. Plekhanova<sup>1</sup>, Vera S. Aslamova<sup>1</sup>, Alexander A. Aslamov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk state transport university,

Irkutsk, Russia, *aslamovav@yandex.ru*

<sup>2</sup>Angarsk state technical university, Angarsk, Russia

**Abstract.** The article developed an ontology of the self-cleaning ability of the atmosphere from anthropogenic pollutants and identified the influence of significant factors on it. According to the website <https://rp5.ru> in the created database in the My SQL DBMS the average annual and average monthly values of meteorological indicators of accumulation of MPZA, MPZA2, MPZA3, and self-purification of the atmosphere PSA, UMPA were calculated and analyzed for the large industrial cities of Angarsk, Bratsk, Irkutsk with a high level of air pollution for 2010-2023. It has been shown that with a determination coefficient of 95.8-99.9%, instead of the MPZA3 indicator, the simpler MPZA2 indicator can be used, and instead of the difficult-to-calculate PSA indicator, the 1/MPZA indicator can be used. In Irkutsk in May, only in 7.1% of cases are favorable conditions for the dispersion of pollution formed in the atmosphere, while in Angarsk and Bratsk there are no favorable conditions for their dispersion.

**Keywords:** meteorological potential of air pollution, ontology of factors, regression model

### References

1. Gosudarstvennyj doklad "O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Irkutskoj oblasti v 2022 godu" [State report "On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2022"], Irkutsk: Maxima LLC, 2023, 285 p.
2. Rasporyazheniye pravitel'stva RF № 1852-r ot 07.07.2022. Data vvedeniya 01.09.2023. [Order of the Government of the Russian Federation No. 1852-r of 07.07.2022. Date of introduction: 01.09.2023.]
3. Aslamova V.S., Plekhanova O.S., Aslamov A.A. Regressionnyye modeli otsenki kompleksnogo tekhnogenogo zagryazneniya atmosfery gorodov Irkutskogo regiona [Regression models for assessing complex technogenic atmospheric pollution in cities of the Irkutsk region]. *Matematicheskiye metody v tekhnologiyakh i tekhnike* [Mathematical methods in technologies and engineering], 2023, no. 8, pp. 62-65.
4. Aslamova V.S., Plekhanova O.S., Aslamov A.A. Regressionnyye modeli ocenki atmosferynyh vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v gorodah Bratsk i Cheremhovo [Regression models for assessing atmospheric emissions of pollutants in the cities of Bratsk and Cheremkhovo]. *Matematicheskiye metody v tekhnologiyakh i tekhnike* [Mathematical methods in technologies and engineering], 2023, no. 11, pp. 80-83.
5. Aslamova V.S., Plekhanova O.V., Aslamov A.A. Regressionnyye modeli ocenki atmosferynyh vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v gorodah Irkutsk i Angarsk [Regression models for assessing atmospheric emissions of pollutants in the cities of Irkutsk and Angarsk]. *Obrazovanie - nauka - proizvodstvo. Materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Education - science - production. Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)], Chita, 2023, pp. 212-217.
6. RD 52.04.667-2005. Dokumenty o sostoyanii zagryazneniya atmosfery v gorodakh dlya informirovaniya gosudarstvennykh organov, obshchestvennosti i naseleniya. Obshchiye trebovaniya k razrabotke, postroyeniyu, izlozheniyu i soderzhaniyu [Documents on the state of air pollution in cities to inform government agencies, the public and the population. General requirements for development, construction, presentation and content]. Data vvedeniya 2006.02.01.
7. Gorod Bratsk – uchastnik nacional'nogo proekta "Ekologiya" federal'nogo proekta "Chistyj vozduh" [The city of Bratsk is a participant in the national project "Ecology" of the federal project "Clean Air"]. Available at: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=424> (accessed: 03/10/2024).
8. Aslamova V.S., Plekhanova O.S. Ontologicheskoe modelirovanie predmetnoj oblasti "antropogennoe zagryaznenie atmosfernogo vozduha" [Ontological modeling of the subject area "anthropogenic air pollution"]. *Informacionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and mathematical technologies in science and management], 2024, no. 1 (33), pp. 40-49, DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.004.
9. Selegey T.S., Yurchenko I.P. Potentsial rasseivayushchey sposobnosti atmosfery [Potential of the scattering ability of the atmosphere]. *Geografiya i prirod. Resursy* [Geography and nature. Resources], 1990. no. 2, pp. 132-137.

10. Selegej T.S., Filonenko N.N., Lenkovskaya T.N. O metodike opredeleniya meteorologicheskogo potentsiala zagryazneniya atmosfery [On the methodology for determining the meteorological potential of atmospheric pollution]. *Optika atmosfery i okeana [Atmosphere and ocean optics]*, 2015, vol. 28, no. 8, pp. 725-729, DOI: 10.15372/AOO20150808.
11. Arguchintseva A.V., Kochugova Ye.A. Potentsial samoochishcheniya atmosfery [Potential for self-purification of the atmosphere]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [News of Irkutsk state university. Series of earth sciences]*, 2019, vol. 27, pp. 3-15.
12. Shagidullin A.R. Dinamika urovnej zagryazneniya osnovnymi gazovymi primesyami i pokazatelej rasseivayushchej sposobnosti atmosfernogo vozduha v g. Kazani [Dynamics of pollution levels with the main gas impurities and indicators of the dispersive capacity of atmospheric air in the city of Kazan]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy [Environmental control systems]*, 2022, no. 2 (48), pp. 84-91.
13. Osipova O.P. Meteorologicheskij potentsial rasseivayushchej sposobnosti atmosfery [Meteorological potential of the dispersive capacity of the atmosphere]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 2020, no. 1, pp. 185-190.
14. Arguchinceva A.V., Vologzhina S.Zh. Klimaticheskie osobennosti rasseivayushchej sposobnosti atmosfery v kotlovine ozera Bajkal [Climatic features of the dispersive capacity of the atmosphere in the basin of Lake Baikal]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [News of Irkutsk state university. Series of earth sciences]*, 2010, vol. 3, no. 1, pp. 3-17.
15. Korytnyj L.M., Bashalhanova L.B., Veselova V.N. et al. Prirodno-klimaticheskie faktory ekologicheskoy bezopasnosti v kontekste social'no-ekonomicheskogo razvitiya Bajkal'skogo regiona [Natural and climatic factors of environmental safety in the context of socio-economic development of the Baikal region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [News of Irkutsk state university. Series of earth sciences]*, 2018, vol. 25, pp. 88-106, DOI 10.26516/2073-3402.2018.25.88.
16. Hashirova T.Yu., Akbasheva G.A., Shakova O.A., Akbasheva E.A. Modelirovanie zagryaznennosti atmosfernogo vozduha [Modeling of atmospheric air pollution]. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]*, 2017, no. 8, pp. 325-330.
17. Miao Y, Zhang G, Li X., Xue C. Editorial: Physical and chemical processes within the planetary boundary layer and their impacts on air pollution. *Front. Environ. Sci.*, 2023, DOI:10.3389/fenvs.2023.1221546.
18. Rasseivanie primesej v atmosfere [Dispersion of impurities in the atmosphere]. Available at: <https://ecoproverka.tnweb.ru/rasseivanie-primesej-v-atmofere> (accessed: 04/14/2024).
19. Velieva N.A. Ochistka atmosfery ot vybrosov [Cleaning the atmosphere from emissions]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii [Modern scientific research and innovation]*, 2021, no. 11, available at: <https://web.snauka.ru/issues/2021/11/97040> (access: 06/03/2024).
20. Kryuchkov V.V. *Priroda i chelovek [Nature and man]*. Moscow, Nauka [Science], 1979, 127 p.
21. Ahtimankina A.V. Issledovanie rasseivayushchej sposobnosti atmosfery Irkutskoj oblasti [Study of the scattering ability of the atmosphere of the Irkutsk region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle [News of Irkutsk State University. Series of earth sciences]*, 2016, vol. 15, pp. 15-27.
22. Sajt OOO «Raspisanie Pogody» [Website of Weather Schedule LLC]. Available at: <https://rp5.ru>.
23. Trofimec L.N., Tarasov A.V. Meteorologicheskij potentsial v izmenyayushchihsya usloviyah uvlazhneniya [Meteorological potential in changing humidification conditions]. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki [Scientific notes of the Oryol state university. Series: natural, technical and medical sciences]*, 2009, no. 2, pp. 168-175.
24. Research report 1.4.3.15 FBGU "SibNIGMI", director. Selegej T.S., Novosibirsk, 2014, 132 p.
25. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Irkutskoj oblasti. Promyshlennoe proizvodstvo [Industrial production], available at: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/169004> (accessed: 06/22/2024).

**Plekhanova Olga Sergeevna.** Applicant, assistant at the department of information systems and information security at the Irkutsk state university of transport and communications (IrGUPS), AuthorID: 641329, SPIN: 2708-5758, ORCID: 0000-0001-6297-8870, [plekhanova\\_os@bk.ru](mailto:plekhanova_os@bk.ru), 664074, Irkutsk, st. Chernyshevsky, 15.

**Aslamova Vera Sergeevna.** Professor, doctor of technical sciences, professor of the department of technosphere safety at the Irkutsk state university of transport and communications (IrGUPS), AuthorID:683194, SPIN:3063-0626, ORCID: 0000-0003-3306-0651, [aslamovav@yandex.ru](mailto:aslamovav@yandex.ru), 664074, Irkutsk, st. Chernyshevsky, 15.

**Aslamov Alexander Anatolyevich.** Associate professor, candidate of technical sciences, associate professor of the department of machines and apparatuses for chemical production, Angarsk state technical university, AuthorID: 504134, SPIN: 7550-9381, ORCID: 0009-0009-6548-8848, [aaa\\_mx@angtu.ru](mailto:aaa_mx@angtu.ru).

Статья поступила в редакцию 09.07.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 07/09/2024; approved after reviewing 11/06/2024; accepted for publication 12/17/2024.