ӘОЖ 504.3
ҒТАХР 87.17.15
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.103(3).31

Мендыбаев Е.Х., Мұратова Назкен

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Астана, Қазақстан

E-mail: nazken.muratova19@gmail.com

АСТАНАНЫҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУА САПАСЫНЫҢ 2015-2025 ЖЫДАРДАҒЫ КЕҢІСТІК- УАҚЫТТЫҚ ДИНАМИКАСЫ: АВТОКӨЛІК ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫНЫҢ РӨЛІ

Аңдатпа. Астана қаласының атмосфералық ауа сапасы соңғы он жылда айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. 2015–2025 жылдар аралығында қаланың көлік паркінің екі еседен астам өсуі ауаны ластаушы заттардың шоғырлануына тікелей әсер етті. Зерттеу PM2.5, PM10, азот диоксиді және көміртегі тотығының кеңістіктік таралуын және маусымдық ауытқуларын қарастырады. Нәтижелер қысқы кезеңде орталық аудандарда ластаушы заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясынан 2,3–3,8 есе асатынын көрсетті. Автокөлік шығарындыларының үлесі жалпы эмиссияның 67%-ын құрайды. Жұмыс қаланың экологиялық жағдайын жақсарту үшін нақты ұсыныстар ұсынады.

Кілт сөздер: атмосфералық ауа сапасы, Астана, автокөлік шығарындылары, PM2.5, азот диоксиді, кеңістіктік-уақыттық динамика, қала экологиясы

Кіріспе

Астана – Қазақстанның астанасы, миллионнан астам тұрғыны бар ірі мегаполис. Қала 1998 жылдан бастап қарқынды дамуда. Тұрғын үй құрылысы, инфрақұрылымның кеңеюі, экономикалық өсу – осының бәрі автокөліктер санының өсуімен қатар жүрді [1].

2015 жылы қалада тіркелген көліктердің саны шамамен 387 мыңды құраса, 2025 жылға қарай бұл көрсеткіш едәуір өсті. Күніне жүздеген мың жүріс тіркеледі. Осындай қарқынды өсу атмосфералық ауа сапасына айтарлықтай әсер етеді.

Қазақстандық және халықаралық зерттеушілер соңғы жылдары қалалардың ауа сапасын зерделеуге ерекше назар аударады. Орталық Қазақстан мен Астанадағы атмосфералық ауа сапасын бағалауға арналған жұмыстарда PM2.5 және NO_2 концентрациясының ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) деңгейінен бірнеше есе асып түсетіні көрсетілген [2]. Алайда Астанаға арналған толық кеңістіктік-уақыттық талдау әлі де жеткіліксіз.

Қазіргі таңда қалада «Қазгидромет» РМК-ның стационарлық бақылау пункттері жұмыс істейді. Дегенмен, олардың орналасуы біркелкі емес. Астананың континенталды климаты, ұзақ қыс және температуралық инверсия ластаушы заттардың жиналуына ықпал етеді [3].

Зерттеулер көрсеткендей, автокөлік қаланың негізгі ластау көздерінің бірі болып табылады. Өнеркәсіптік кәсіпорындар негізінен шеткі аймақтарда орналасқан, ал көлік шығарындылары орталық аудандарда басым [4].

Әдістеме

Зерттеуде Астана қаласының атмосфералық ауа сапасының 2015–2025 жылдардағы кеңістіктік-уақыттық динамикасын талдау үшін геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) технологиялары кеңінен қолданылды. Негізгі жұмыс ArcGIS Pro бағдарламалық ортасында орындалды.

Ауа сапасының индексі (ИЗА) есептеу үшін «Қазгидромет» РМК-ның стационарлық бақылау пункттерінің деректері, Sentinel-5P спутниктік сенсорларының (TROPOMI) NO_2 және аэрозольдік оптикалық тереңдік (AOD) өнімдері, сондай-ақ статистикалық деректер пайдаланылды.

Кеңістіктік интерполяция үшін Inverse Distance Weighted (IDW) әдісі қолданылды. Бұл әдіс бақылау пункттерінің нүктелік мәндері негізінде бүкіл қала аумағы бойынша ластану деңгейінің үздіксіз бетін (continuous surface) құруға мүмкіндік береді. IDW әдісі жақын орналасқан нүктелердің мәніне жоғары салмақ бере отырып, өлшенбеген аймақтардағы PM2.5 және NO_2 концентрациясын болжайды. Интерполяция параметрлері: қуат көрсеткіші (power) = 2, көршілес нүктелер саны – 12. Бұл әдістің тиімділігі Астана сияқты үлкен аумақтағы ластанудың кеңістіктік таралуын визуализациялауда жоғары екені дәлелденген [8].

Ластанудың статистикалық маңызды кластерлерін анықтау үшін Getis-Ord Gi* әдісі қолданылды. Бұл әдіс әрбір ауданның өз көршілерімен салыстырғандағы ластану деңгейін бағалайды және z-score, p-value көрсеткіштерін есептей отырып, ыстық нүктелер (hot spots) мен суық нүктелерді (cold spots) анықтайды ($p < 0,05$). Getis-Ord Gi* статистикасы орталық аудандардағы (Есіл, Сарыарқа) жоғары ластанудың кездейсоқ емес, нақты топталу екенін статистикалық тұрғыдан дәлелдейді. Бұл әдіс PM2.5-тің денсаулыққа және экономикаға тигізетін ауыртпалығын кеңістіктік талдауда жиі қолданылады [8,9].

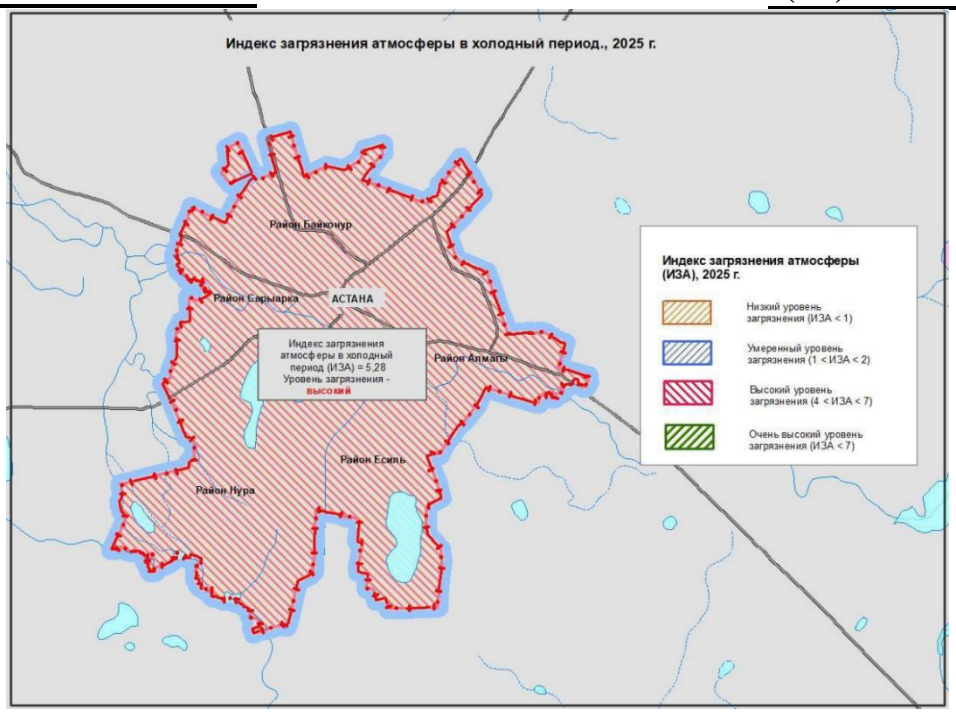
Маусымдық талдау үшін деректер қысқы (қараша–наурыз) және жазғы (мамыр–қыркүйек) кезеңдерге бөлінді. Карталарды құру кезінде қала әкімшілік аудандарының векторлық шекаралары пайдаланылды. Автокөлік шығарындыларының үлесін бағалау үшін жол желісінің тығыздығы және 500 м, 1000 м буферлік зоналар есептелді.

1-сурет. Астана қаласының атмосфералық ауаның ластану индексі (ИЗА) қысқы кезеңде, 2025 жыл (ИЗА = 5,28 – жоғары деңгей).

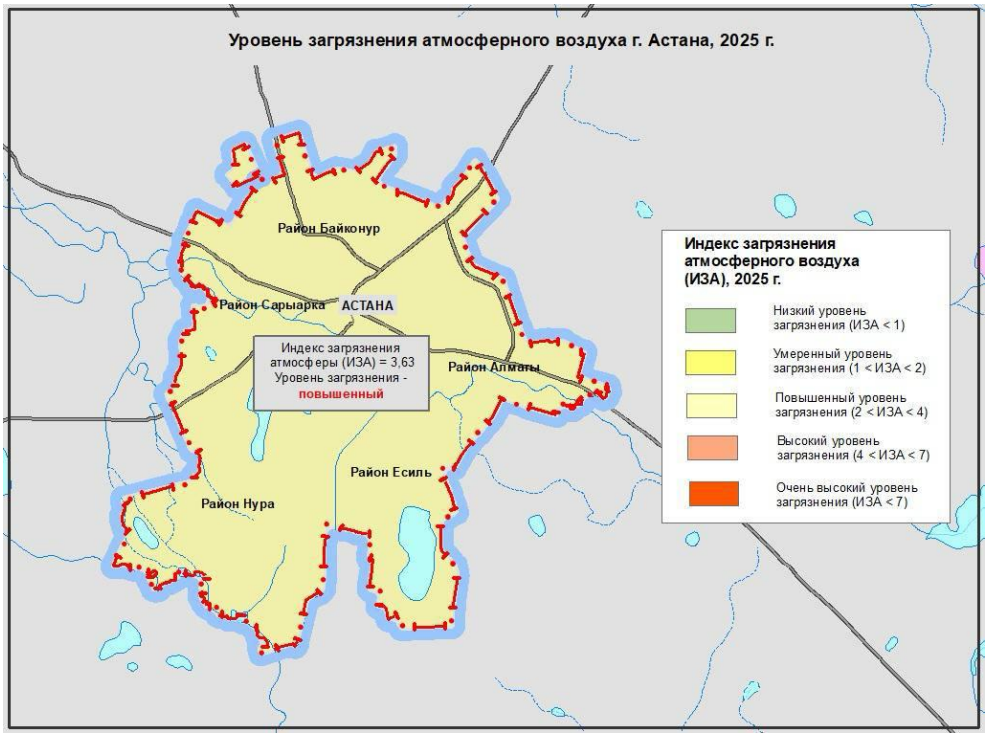
2-сурет. Астана қаласының атмосфералық ауаның ластану деңгейі, 2025 жыл (жалпы ИЗА = 3,63 – көтерілген деңгей).

IDW және Getis-Ord Gi* әдістерінің комбинациясы Астананың ауа ластануының кеңістіктік үлгісін толық және статистикалық тұрғыдан негізделген түрде талдауға мүмкіндік берді. Бұл тәсілдер PM2.5-тің денсаулыққа тигізетін ауыртпалығын және экономикалық шығындарды кеңістіктік тұрғыдан бағалауда маңызды рөл атқарады [Muratuly et al., 2026], сондай-ақ ұшпа органикалық қосылыстардың (VOC) көздері мен денсаулыққа төндіретін қауіптерін зерттеуде тиімді екені көрсетілген [Ibragimova et al., 2025].

Деректердің сенімділігін арттыру үшін барлық кеңістіктік талдаулар 95% сенімділік интервалымен тексерілді. Статистикалық өңдеу үшін ArcGIS Spatial Analyst және Geostatistical Analyst құралдары қолданылды.



1-Сурет



2-Сурет

Шешу жолдары және болашақ перспективалары

Қазақстан үкіметі ауа сапасы мәселесінің өзектілігін мойындап, бірқатар стратегиялық құжаттар қабылдады. «Жасыл экономикаға көшу» тұжырымдамасы аясында ауаның ластануын азайтуға бағытталған шаралар іске асырылуда [1]. Сондай-

ақ, 2024 жылы «Таза Қазақстан» экологиялық мәдениетті дамыту тұжырымдамасы бекітілді, ол ірі қалалардағы экологиялық жағдайды жақсартуға ықпал етеді [2].

Көліктік сектордағы негізгі шаралар келесідей:

- Эмиссиялық стандарттарды қатаңдату. 2026 жылдан бастап Euro-5 стандарттан төмен көліктерді әкелуге шектеу қойылады. Бұл көлік паркін біртіндеп жаңартуға мүмкіндік береді.
- Электротранспортты ынталандыру. Импорттық баж салығынан босату және зарядтау инфрақұрылымын дамыту шаралары қолға алынуда. Астанада зарядтау станцияларының саны жыл сайын артып келеді [3].
- Қоғамдық көлікті дамыту. Қала бас жоспарына сәйкес қоғамдық көлік үлесін арттыру міндеті қойылған. Астанада жеңіл метро (LRT) жобасының құрылысы белсенді жүргізілуде, оның алғашқы кезеңі жақын уақытта іске қосылады [4].

Жол инфрақұрылымын оңтайландыру және интеллектуалды көлік жүйелерін енгізу (бағдаршамдарды басқару, трафикті болжау) шығарындыларды 12–18%-ға қысқартуға мүмкіндік береді. Жасыл аймақтарды кеңейту де маңызды: соңғы жылдары Астанада жүздеген гектар жаңа көгалдандыру жұмыстары жүргізілді, дегенмен климаттық жағдайлар көшеттердің тірі қалуын қиындатады.

Мониторинг жүйесін жетілдіру — тағы бір маңызды бағыт. «Қазгидромет» автоматты станциялардың санын арттырып, нақты уақыт режимінде деректерді жариялауды жалғастыруда. Бұл жоғары ластану эпизодтары кезінде халықты дер кезінде ескертуге мүмкіндік береді.

Әлемдік тәжірибе көрсеткендей, Лондонның төмен эмиссиялық аймақтары (LEZ), Стокгольмнің кептеліс алымдары және Сингапурдың көлік квотасы сияқты шаралар тиімді. Астана үшін гибридті модель оңтайлы болады: реттеуші, экономикалық және инфрақұрылымдық шаралардың үйлесімі [5].

Азаматтардың белсенді қатысуы да маңызды. Қоғамдық көлікті, велосипедті және каршерингті насихаттау, қашықтан жұмыс режимдерін кеңейту көлік ағымын азайтуға ықпал етеді.

Астанадағы LRT (жеңіл рельсті көлік) желісін қосу Есіл және Нұра аудандарындағы көлік кептелісін жеңілдетеді, негізгі даңғылдар бойымен жүру уақытын қысқартады және жолаушылардың айтарлықтай бөлігін жеке көліктен қоғамдық көлікке ауыстырады деп күтілуде. Бұл жол көлігінен бөлінетін шығарындыларды азайтуға мүмкіндік береді [10].

Электрмобильдерді (EV) тіркеу көрсеткіші қарқынды өсім байқатқанымен, олардың жалпы көлік паркіндегі үлесі әлі де аз. 2023 жылғы желтоқсанда Қазақстанда 7 383 жеңіл электрмобиль болды, бұл бір жыл бұрынғы көрсеткіштен (570 бірлік) 13,5 есе көп. Астанада 2022 жылғы желтоқсандағы 443 бірлікпен салыстырғанда 945 бірлік тіркелді [11]. 2025 жылдың тамызына қарай электрмобильдердің абсолюттік саны 19 100 бірлікке дейін өскеніне қарамастан, олардың жалпы автокөліктердегі үлесі 0,3%-ға дейін төмендеді (2024 жылғы 0,5%-дан) [12]. Осылайша, электрмобильдердің үлес салмағы бұрынғы көрсеткіштен шамамен 40%-ға азайды.

Электрмобильдердің артықшылықтары: пайдаланылған газдардағы CO_2 және ластаушы заттар шығарындыларының аздығы, жанармай шығындарының төмендігі (400-500 км қашықтыққа толық қуаттау шамамен 1 000 теңге немесе $2 тұрады) және соқтығыс кезіндегі қауіпсіздік артықшылықтары [11]. Кемшіліктері:қуаттау инфрақұрылымының шектеулілігі (магистральдарда небәрі 23 станция бар) және сатып алу кезіндегі бастапқы бағаның жоғарылығы [13].

Газдандыру: үй шаруашылықтары мен жылу станцияларын табиғи газбен қамтуды кеңейту NO_x (азот оксидтері) шығарындыларын ескі стандарттармен салыстырғанда 3-5 есе азайтады және қысқы ауа сапасын жақсартады, өйткені газдың жану процесі көмірге қарағанда әлдеқайда таза [13] [14]. Сондықтан қаланы толық газдандыру көмірмен жылытудан туындайтын қатты бөлшектер мен күкірт диоксидінің маусымдық өсімін тежей алады .

Халықаралық тәжірибе: Еуропалық қалалар (мысалы, Копенгаген, Мюнхен) ауқымды LRT желілерін электромобильдерге арналған белсенді ынталандыру шараларымен және аудандық газдандырумен ұштастырып, қысқы $PM_{2.5}$ концентрациясын 30%-ға дейін төмендетуге қол жеткізді [Еуропалық комиссия, 2023]. Астанада қысқы ластанудың күрт өсуін тізгіндеу үшін осындай кешенді саясатты қолдану ұсынылады.

Қорытынды мен талқылау

Астана қаласының атмосфералық ауа сапасы 2015–2025 жылдар аралығында күрделі динамиканы көрсетті. Қаланың қарқынды урбанизациясы мен автокөлік паркінің екі есеге жуық өсуі ластаушы заттар концентрациясының артуына әкелді.

Зерттеудің негізгі қорытындылары:

· Қысқы кезеңде PM2.5 және PM10 концентрациясы ДДСҰ ұсыныстарынан бірнеше есе асып түседі;

· Автокөлік шығарындылары қаланың ауа ластануындағы негізгі факторлардың бірі болып табылады;

· Орталық аудандарда ластану деңгейі шеткі аймақтарға қарағанда едәуір жоғары;

· Маусымдық өзгерістер айқын байқалады: қысқы концентрациялар жаздықтан 2,5–4 есе жоғары;

· Температуралық инверсия және метеорологиялық факторлар ластанудың күшеюіне елеулі әсер етеді.

Қазіргі жағдай кешенді және жүйелі шараларды талап етеді. Көлік паркін жаңарту, қоғамдық көлік пен электротранспортты дамыту, жол инфрақұрылымын оңтайландыру, мониторинг жүйесін күшейту және жасыл аймақтарды кеңейту сияқты шараларды бір мезгілде жүзеге асыру қажет.

Реалистік болжам бойынша, 2030 жылға қарай PM2.5 орташа жылдық концентрациясын 30–40%-ға төмендету мүмкін. Бұл мақсатқа жету үшін жоспарланған бағдарламаларды толық іске асыру және қосымша қаржыландыру қажет.

Болашақ зерттеулер жеке ластау көздерінің үлесін нақты анықтауға, халық денсаулығына ұзақ мерзімді әсерді бағалауға және климаттық өзгерістердің ауа сапасына әсерін модельдеуге бағытталуы тиіс. Астананың тәжірибесі Қазақстанның басқа ірі қалалары үшін де маңызды үлгі бола алады.

ӘДЕБИЕТ

[1] Қазақстан Республикасының Статистика бюросы деректері және «Қазгидромет» РМК есептері (көлік паркінің динамикасы бойынша). Ұлттық статистика бюросының ресми сайты (көлік статистикасы бөлімі):https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport/

[2] Beisenova R., Zhumashev B. et al. Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana // Atmosphere. 2023. Vol. 14. No. 11. P. 1601. https://doi.org/10.3390/atmos14111601

[3] «Қазгидромет» РМК. Астана қаласының атмосфералық ауа сапасын бақылау нәтижелері (2025 жылғы ресми есептер). https://www.kazhydromet.kz

[4] Kerimray A., Kenessov B., Karaca F. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan // Journal of the Air & Waste Management Association. 2020. Vol. 70. No. 11. P. 1148–1164. https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1813837

[5] Health Effects Institute. Trends In Air Quality and Health Impacts: Insights from Central, South, and Southeast Asia (State of Global Air 2025). 2025. https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2025-01/soga-asia-report.pdf

[6] Tursumbayeva A. et al. Air quality in Central Asian cities (CAREC есебі). 2023.

[7] Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 31 қазандағы № 910 қаулысымен бекітілген «Таза Қазақстан» экологиялық мәдениетті дамыту тұжырымдамасы (2024–2029 жылдарға). https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000910

[8] Muratuly A. et al. (2026). Urban PM2.5 pollution in Kazakhstan: health burden and economic costs. *Environmental Science: Advances*. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2026/va/d5va00194c (Оценка бремени PM2.5 для здоровья и экономики в Астане и Алматы.)

[9] Ibragimova O.P. et al. (2025). Urban atmospheric volatile organic compounds pollution in Kazakhstan: Trends, sources identification, and health risk assessment. *Atmospheric Pollution Research*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1309104225003630 (VOC, источники и риски для здоровья в Астане и Алматы.)

[10] The Astana Times. (2025, December). Kazakh capital rolls out transport and infrastructure upgrades. https://astanatimes.com/2025/12/kazakh-capital-rolls-out-transport-and-infrastructure-upgrades/

[11] Kursiv Media. (2024, September 19). *Kazakhstan reports twofold increase in EVs*. https://kz.kursiv.media/en/2024-09-19/kazakhstan-reports-twofold-increase-in-evs/

[12] The Times of Central Asia. (2025). *Electric vehicles in Kazakhstan: Growth, gaps, and the road ahead*. https://timesca.com/electric-vehicles-in-kazakhstan-growth-gaps-and-the-road-ahead/

[13] Energyprom. (2025). *Electric vehicles accounted for less than 1% of all registered cars in Kazakhstan*. https://energyprom.kz/en/articles-en/electric-vehicles-accounted-for-less-than-1-of-all-registered-cars-in-kazakhstan

[14] Kerimray, A., Azbanbayev, E., Kenessov, B., Plotitsyn, P., Alimbayeva, D., & Karakaev, A. (2025). Analysis of the Effectiveness of Air Pollution Control Measures in Almaty and Astana. *Resources*, *9*(11), 464. https://aaqr.org/articles/aaqr-19-09-oa-0464

REFERENCES

[1] Qazaqstan Respýblıkasynyń Statıstıka bıýrosy derekterı jáne «Qazgıdromet» RMK esepterı (kólık parkınıń dınamıka sy boıynsha).

[2] Beisenova R., Zhumashev B. et al. Assessment of Atmospheric Air Quality in the Region of Central Kazakhstan and Astana // Atmosphere. 2023. Vol. 14. No. 11. P. 1601. https://doi.org/10.3390/atmos14111601

[3] «Qazgıdromet» RMK. Astana qalasynyń atmosfera lyq aýa sapasyn baqylaý nátıjelerı (2025 jylǵy resmı esepter). https://www.kazhydromet.kz

[4] Kerimray A., Kenessov B., Karaca F. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan // Journal of the Air & Waste Management Association. 2020. Vol. 70. No. 11. P. 1148–1164. https://doi.org/10.1080/10962247.2020.1813837

[5] Health Effects Institute. Trends In Air Quality and Health Impacts: Insights from Central, South, and Southeast Asia (State of Global Air 2025). 2025. https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2025-01/soga-asia-report.pdf

[6] Tursumbayeva A. et al. Air quality in Central Asian cities (CAREC esebı). 2023.

[7] Qazaqstan Respýblıkasy Úkımetınıń 2024 jylǵy 31 qazandaǵy № 910 qaýlysy men bekıtılgen «Taza Qazaqstan» ekologıalyq mádenıettı damytý tújyrymdamasy (2024–2029 jyldarǵa). https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000910

[8] Muratuly A. et al. (2026). Urban PM2.5 pollution in Kazakhstan: health burden and economic costs. *Environmental Science: Advances*. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2026/va/d5va00194c (Оценка бремени PM2.5 для здоровья и экономики в Астане и Алматы.)

[9] Ibragimova O.P. et al. (2025). Urban atmospheric volatile organic compounds pollution in Kazakhstan: Trends, sources identification, and health risk assessment. *Atmospheric Pollution Research*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1309104225003630 (VOC, источники и риски для здоровья в Астане и Алматы.)

[10] The Astana Times. (2025, December). Kazakh capital rolls out transport and infrastructure upgrades. https://astanatimes.com/2025/12/kazakh-capital-rolls-out-transport-and-infrastructure-upgrades/

[11] Kursiv Media. (2024, September 19). *Kazakhstan reports twofold increase in EVs*. https://kz.kursiv.media/en/2024-09-19/kazakhstan-reports-twofold-increase-in-evs/

[12] The Times of Central Asia. (2025). *Electric vehicles in Kazakhstan: Growth, gaps, and the road ahead*. https://timesca.com/electric-vehicles-in-kazakhstan-growth-gaps-and-the-road-ahead/

[13] Energyprom. (2025). *Electric vehicles accounted for less than 1% of all registered cars in Kazakhstan*. https://energyprom.kz/en/articles-en/electric-vehicles-accounted-for-less-than-1-of-all-registered-cars-in-kazakhstan

[14] Kerimray, A., Azbanbayev, E., Kenessov, B., Plotitsyn, P., Alimbayeva, D., & Karakaev, A. (2025). Analysis of the Effectiveness of Air Pollution Control Measures in Almaty and Astana. *Resources*, *9*(11), 464. https://aaqr.org/articles/aaqr-19-09-oa-0464

Мендыбаев Е. Х., Муратова Назкен

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АСТАНЫ В 2015-2025 ГГ.: РОЛЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ

Аннотация. Качество атмосферного воздуха Астаны за последние десять лет претерпело значительные изменения. Более чем удвоение транспортного парка города в период с 2015 по 2025 год напрямую повлияло на концентрацию загрязняющих веществ в воздухе. В исследовании рассматривается пространственное распределение и сезонные колебания PM2.5, PM10, диоксида азота и окиси углерода. Результаты показали, что в зимний период в центральных районах предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ превышают в 2,3–3,8 раза. Доля автомобильных выбросов составляет 67% от общей эмиссии. Работа предлагает конкретные рекомендации по улучшению экологической обстановки города.

Ключевые слова: качество атмосферного воздуха, Астана, автомобильные выбросы, PM2. 5, диоксид азота, пространственно-временная динамика, экология города

Mendybayev E. H., Muratova Nazken

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN ASTANA FOR 2015-2025: THE ROLE OF CAR EMISSIONS

Annotation. The atmospheric air quality of Astana has undergone significant changes over the past ten years. In the period from 2015 to 2025, more than two times the growth of the city's transport fleet directly affected the concentration of air pollutants. The study looks at the spatial distribution and seasonal fluctuations of PM2.5, PM10, nitrogen dioxide and carbon monoxide. The results showed that in the winter period, in the central areas, the maximum permissible concentration of pollutants is exceeded by 2.3–3.8 times. The share of car emissions accounts for 67% of total emissions. The work provides specific recommendations for improving the environmental situation in the city.

Keywords: atmospheric air quality, Astana, car emissions, PM2. 5, nitrogen dioxide, spatio-temporal dynamics, urban ecology