



ӨОЖ 504.75/574.2

ҒТАХР 34.35.15/34.35.51

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.98(2).96

Дарибаева С.А, Казбекова К.А.*

КеАҚ «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті»

*Корреспондент-автор: karina09081999@gmail.com

E-mail: sevara.daribaeva@gmail.com, karina09081999@gmail.com

МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ АЙНЫМАЛЫЛАР ЖӘНЕ АТМОСФЕРАЛЫҚ ЛАСТАҒЫШТАР, ЭМИССИЯЛАР АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС (ҚОСТАНАЙ ҚАЛАСЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА)

Аңдатпа. Бұл жұмыста Қостанай қаласындағы метеорологиялық айнымалылар мен (температура, ылғалдылық, желдің жылдамдығы) мен атмосфералық ластаушы заттардың концентрациясы (NO_2 , CO , O_3 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) арасындағы байланыс зерттеледі. Корреляциялық және регрессиялық талдау арқылы ауа-райының ауаның ластану деңгейіне әсерін анықтайтын статистикалық тәуелділіктер анықталды. Температура озонмен (O_3) және азот оксидімен (NO) оң корреляцияланатыны анықталды, бұл олардың фотохимиялық реакцияларымен түсіндіріледі. Ылғалдылық CO және H_2S концентрациясының жоғарылауына ықпал етеді, бірақ NO және O_3 қиындатылғандықтарын төмендетеді. Желдің жылдамдығы ластаушы заттардың дисперсиясына әсер етеді: қатты желде NO_2 және NO концентрациясы жоғарылайды, бірақ SO_2 және O_3 деңгейі төмендейді. Нәтижелер аймақтағы экологиялық жағдайды бағалауға көмектеседі және ауа сапасын жақсарту және ластануды бақылау стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: ауа ластағыштар; жел жылдамдығы; қалқыма бөлшектер; азот оксидтері; көміртек монооксиді; озон; корреляция; регрессиялық талдау; метеорологиялық айнымалылар; мониторинг.

Kipicne

Ауа райы зиянды заттардың ауада таралуына, сондай-ақ қоршаған ортаның ластану деңгейіне және қалалар мен олардың маңындағы ауаның сапасына елеулі әсер етеді. Атмосфераның ластануы температура, ылғалдылық, жауын-шашын, желдің бағыты мен жылдамдығы, сондай-ақ күн радиациясы сияқты әртүрлі метеорологиялық айнымалылармен тығыз байланысты. Бұл байланыс көптеген ғалымдардың зерттеулерінде сипатталған. Мысалы, З.Т. Мұхаметжанова, Қ.З. Сакиев, және т.б. (2016 ж.) жүргізген Арал қаласы аумағының ластану деңгейіне метеорологиялық айнымалылардың әсері бойынша зерттеу жұмысын өткізді. Зерттеу барысында ауа температурасы жоғарылауы және жел режимі сияқты метеорологиялық айнымалылардың шаңды дауылдың оңтүстік-батыс (11%), батыс (8%) және оңтүстік (6%) 6,5 м/с жылдамдықта пайда болуын және ауаның азот және күкірт диоксидтері секілді ұсақ бөлшектермен ластануын байқады [1]. Ал, А.А. Кабдыкадыров, О.А. Зубова, Өскемен қаласында атмосфералық ауаның ластануы бойынша зерттеу жүргізіп, қаланың ластануының жоғарылауына ықпал ететін басым метеорологиялық көрсеткіш - тұманның жоғары жиілігі екені анықтады. Атмосферадағы ең көп таралған ластаушы күкірт



диоксидінің тұман тамшыларында еруі, күкірт қышқылының аэрозолының түзілуіне және оның улы күкірт қышқылына жартылай тотығуына әкелетінін атап өтеді [2]. Сондай-ақ, М.О. Турсумбаева (2021 ж.) Астана және Алматы қалаларында атмосфералық ауадағы $PM_{2.5}$ концентрациясына метеорологиялық жағдайлардың әсерін талдады. Зерттеу нәтижелері бойынша $PM_{2.5}$ орташа тәуліктік концентрациясы мен атмосфералық шекаралық қабат биіктігі (PBLH) арасында кері байланысты анықтады. Қыс айларында $PM_{2.5}$ жоғары концентрациясы ($94,0 \text{ мкг/м}^3$) төмен PBLH-мен ($392,5 \text{ м}$) сәйкес келсе, жазда $PM_{2.5}$ төмен концентрациясы ($9,9 \text{ мкг/м}^3$) жоғары PBLH-мен ($1969,4 \text{ м}$) сәйкес болғанын көрсетті. Қыста $PM_{2.5}$ ең жоғары концентрациясы төмен PBLH және тыныш жел жағдайлары арасында байланысты айқындады [3]. Сонымен қатар, Губашева Б.Е., Цыганков В.И., және т.б. 2024 ж. наурызда Астана, Алматы қалаларында метеорологиялық жағдайлардың атмосфералық ауа сапасына әсерін бағалауды өткізді. Зерттеу нәтижелері бойынша тамыз айында көміртек оксиді мен күкірт диоксидінің, қарашада азот оксидінің концентрациясы жоғары болғанын, ал ақпанда күкірт диоксидінің деңгейі төмен екенін көрсетті. Чеддок шкаласы бойынша жауын-шашын мен күкірт диоксиді арасында корреляцияны байқады, сондай-ақ ақпанда ауа температурасы мен азот оксиді арасында байланысты анықтады [4].

PM_{10} , $PM_{2.5}$ ластаушы заттардың Павлодар қаласының тұрғын алабы кеңістігінде таралуын Сафаров Р., Шоманова Ж., және т.б. (2023 ж.) зерттеген. Нәтижелер бойынша ластану деңгейін бағалау үшін негізгі көрсеткіш ретінде ауа сапасының индексі (AQI) пайдалана отырып, 2022-2023 жылдар аралығында Павлодар қаласындағы жеті бақылау станциясының деректеріне талдау жасады. Корреляциялық талдаудың нәтижелері ластану деңгейі мен өнеркәсіптік аймақтардан қашықтығы арасындағы сызықтық тәуелділікті көрсетті, ең экологиялық таза аймақ қаланың оңтүстік-батыс бөлігінде, Ертіс өзенінің жағалауында орналасқан [5]. Осы тұрғыда, Г.А.Медеуова, А.С.Мадиеков, Ш.Е.Турашов, және т.б. (2020 ж.) 2013 және 2018 жылдар аралығындағы Қазақстанның ең ірі қаласы Алматыдағы PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 және CO-ның кеңістіктік және уақыттық заңдылықтары зерттелген. $PM_{2.5}$, PM_{10} және NO_2 концентрацияларының жылдық орташа көрсеткіштері ДДСҰ (Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау Ұйымының) жылдық шегінен тиісінше 5,3, 3,9 және 3,2 есе асып түсті. Ең жоғары деңгейлер қыста, ал ең төменгі деңгейлер жазда екенін анықтады [6]. Қыс мезгіліндегі ауа райы жағдайлары мен атмосфералық ауаның сапасы арасындағы тәуелділікті Н.К. Смағұлов, А.Е. Қонқабаева және басқалары (2023 ж.) зерттеді. Зерттеу барысында Қарағанды мен Петропавл қалаларында жел мен ауадағы ластаушы заттардың болуы арасында орташа оң корреляция тіркелді. Және де жел мен қалқыма бөлшектер, күкірт диоксиді, көміртегі оксиді және метан арасында әлсіз теріс корреляция анықталды [7]. Сонымен қатар, 2019 жылы Н.Т. Мұратова мен А.С. Мәдібеков 2004-2018 жылдар аралығындағы Астана қаласының ауа ластануына зерттеу жүргізді. Шаң концентрациясы барлық айларда ШРК-дан (ШРЕК) асып түсті, наурыз айында ең жоғары деңгей және қаңтар айында ең төменгі деңгей анықталды. Азот диоксиді наурыз айында ең жоғары деңгейге жетті ($0,84 \text{ мг/м}^3$) және тек жылыту маусымында ШРК-дан асып түсті. Сутегі фториді қаңтар, ақпан және наурыз айларында жоғары болды, қаңтарда максимум $0,006 \text{ мг/м}^3$, ал жазда минималды мәндер байқалды [8]. Осы тәуелділіктер негізінде, Мукашева М.А. және Тыкежанова Г.М. 2016 жылы Қарағанды қаласындағы атмосфералық ауаның ластануын талдаған. Бұл зерттеуде негізгі ластаушы заттар ретінде $PM_{2.5}$, PM_{10} бөлшектері, диоксид азота, фенол, формальдегид және басқа да қосылыстар зерттелген. Орташа концентрацияларының кейбірі шекті деңгейлерден (ШРК) асып кеткен, мысалы, $PM_{2.5}$ көрсеткіші $15,92 \text{ ШРК м.а.}$ құрағанның байқады [9].

Ғалымдар ауа райының жағдайы мен ауаның ластануының өзара байланысын жиі зерттейді. Бұл оңай емес, себебі температура, жел немесе күн радиациясы сияқты түрлі



ауа райы факторлары бір уақытта әсер етеді және олардың ықпалын бөліп қарастыру қиын.

Сонымен қатар, ауаның ластануына жер бедері, қаланың орналасуы, урбанизация деңгейі, сәулет және инфрақұрылым сияқты басқа да факторлар әсер етеді.

Осы зерттеудің *мақсаты* – Қостанай қаласындағы ауа райының кейбір айнымалылары (ауаның температурасы, ылғалдылық, жел жылдамдығы) мен атмосфераны ластаушы заттардың (NO_2 , CO , O_3 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) концентрациясы арасындағы байланысты анықтау. Бұл үшін корреляциялық және регрессиялық талдау әдістері қолданылады.

Қостанай қаласы – Қазақстанның ең ірі әкімшілік, экономикалық және мәдени орталықтарының бірі. Ол Қостанай жазығының орталық бөлігінде, Батыс Сібір ойпатының дала белдеуінің оңтүстік-батыс шетінде орналасқан. Қала Тобыл өзенінің жағасында, Әбілсай мен Қостанай өзендеріне жақын орналасқан. Қостанай облысының жер көлемі 8991 гектар, ал халық саны 247 246 адам (2019).

Климаттық ерекшеліктерін айтып өтетін болсақ, Қостанай облысы Қазақстан Республикасының солтүстік-батыс бөлігінде орналасуы және қысқы және жазғы кезеңдердегі, күндізгі және түнгі уақыттағы ауа температурасының күрт қарама-қайшылықтары бар континенттік климатқа ие. Қысқы жағдайлар бұлтты, суық, тұрақты қар жамылғысы бар, қатты жел, тұман және боран. Жазғы күндер орташа ыстық, бірақ салыстырмалы түрде қысқа. Ауа температурасы нөлден төмен суық кезеңнің ұзақтығы Қостанай қаласы үшін орта есеппен 3,7 айды құрайды. Шілденің орташа тәуліктік температурасы: $+20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, қаңтарда: $-14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тәулік бойы температураның күрт өзгеруі тән. Жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері 352,2 мм-ден асады. Суық мезгіл (қараша-наурыз) жылы маусымға қарағанда жауын-шашынмен аз қамтамасыз етіледі, жазда жылдың басқа маусымдарына қарағанда айтарлықтай көп жауын-шашын түседі. Желдің орташа жылдамдығы: 3,2 м/с, негізінен қыста оңтүстік, ал жазда солтүстік бағытта. Ауаның орташа жылдық ылғалдылығы: 71 % [11]

Ауа бассейнінің ластануына негізінен жылу энергиясы, өнеркәсіп, және автокөлік кәсіпорындары әсер етеді [12].

Қостанай жылу энергетикалық компаниясы (ЖЭК) қала тұрғындарының энергетикалық қажеттіліктерін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Бірақ оның жұмысынан шығатын зиянды газдар мен қалдықтар ауаға зиянды әсер етеді, әсіресе қатты аязды кезеңдерде. Көмірмен жылу өндіру кезінде ауаға көп мөлшерде ластаушы заттар шығарылады.

Соңғы жылдары Қостанай қаласының жолдарында көлік ағынының артуы да ауаның ластануына әкелуде. Ескірген көліктер мен дизельді қозғалтқыштардан шығатын түтіндер, зиянды заттарды ауаға таратады, бұл тұрғындардың денсаулығына қауіп төндіреді. Нақтырақ атап өтетін болсақ, Қостанай облысы полиция департаментінің деректері бойынша 2023 жылдың бірінші тоқсанында өңірде 232 616 көлік тіркелген болса, оның 178 780-і жеңіл көлік. Ал 2024 жыл бұл сан біршама жоғарылаған, осы жылдың бірінші тоқсанына облыста 256 448 машина, жеңіл автомобильдер – 201 434 тіркелген [13]. Олардың ішінде электр қуатымен қозғалатын автокөліктер саны тым аздығы да жалпы қала экологиясына біршама нашар әсер ететін атап өтуге болады.

Тағы да бір атап өтетін мәселе бұл Қостанай қаласында қатты тұрмыстық қалдықтарды жинау мен өңдеу болып табылады. Қаладағы қатты тұрмыстық қалдықтарды жинайтын полигон 2024 жылғы мәліметтер бойынша 90 % толған, ал ол кезегінде экологиялық проблемаларды тудырып, табиғи ресурстардың ластануына және жердің құнарлылығына теріс әсер етеді.

Қаладағы стационарлық бақылау бекеттері де жеткіліксіз. Қостанайда бар болғаны төрт бекет бар, ал қала тұрғындарының санына қарай, әр бекетке 61 мың адамнан келеді.



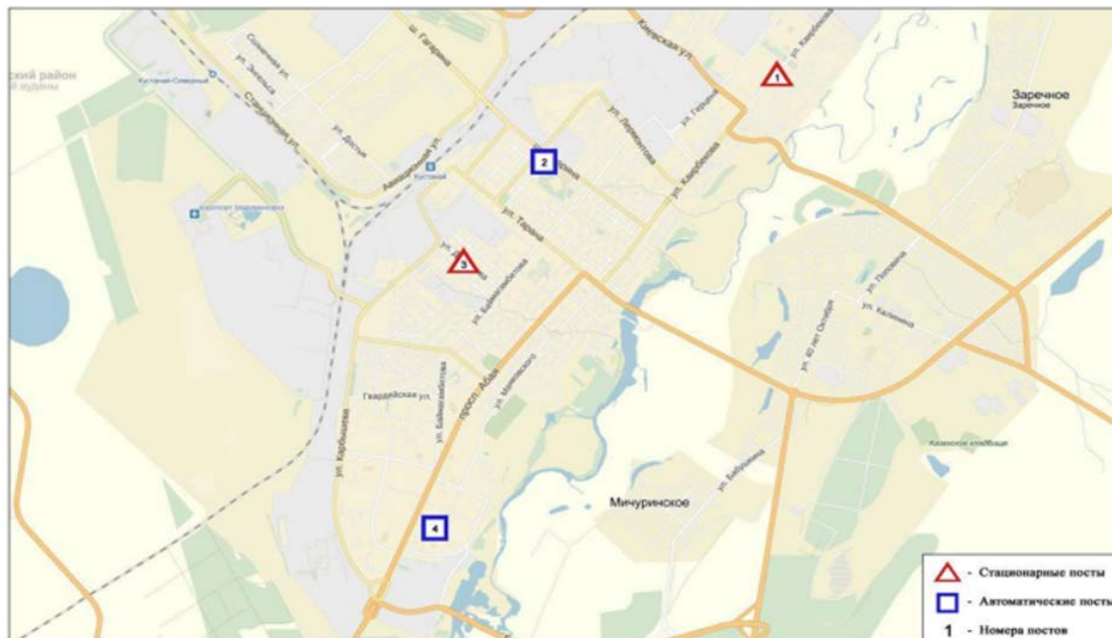
Бұл жағдай ауаның ластануын бақылауды қиындатады. Осы мәселелерді шешу үшін ескі канализациялық тазарту құрылғыларын жаңарту және экологиялық бақылауды жақсарту қажеттілігі туындайды.

Дегенмен, ауа сапасы мен метеорологиялық айнымалылар бір-бірімен тығыз байланысты болғандықтан, оларды экологиялық жағдайды бағалауда жан-жақты қарастырған жөн. Салдарлардың ауқымы туралы өзекті ақпарат халықтың денсаулығын қорғау мақсатында атмосфераға зиянды шығарындыларды азайту жөніндегі тиімді шараларды әзірлеу үшін қажет. Бұл мақалада біз Қостанай қаласындағы 2021-2024 жылдар үшін ауаның ластануына және метеорологиялық жағдайлар мен экология арасындағы корреляциялық тәуелділікке регрессиялық талдау жүргіздік.

Материалдар мен әдістер

Атмосфералық ауаның ластануын талдауға арналған материалдар ашық көздерден көшірілді ("Қазақстан Республикасы бойынша қоршаған ортаның жай-күйі туралы ақпараттық бюллетень" 2021-2024 жж.).

Қостанай қаласы аумағындағы атмосфералық ауаның жай – күйін бақылау сынамааларды қолмен іріктеудің 2 бекетінде және 2 автоматты (үздіксіз режимде - әрбір 20 минут сайын) станцияда жүзеге асырылады (сурет). Жалпы қала бойынша 9 көрсеткіш анықталады: 1) қалқыма бөлшектер (шаң); 2) $PM_{2.5}$ қалқыма бөлшектер; 3) PM_{10} қалқыма бөлшектер; 4) күкірт диоксиді; 5) көміртегі оксиді; 6) азот диоксиді; 7) азот оксиді; 8) озон 9) күкірт сутек.



1-сурет – Қостанай қаласының атмосфералық ауасының ластануын бақылаудың стационарлық желісінің орналасу схемасы [14].

1 – Қолмен сынама алу Қайырбекова көшесі 379. 2 – Автоматты станция Бородинка көшесі 142. 3 – Қолмен сынама алу Доцанов көшесі 43. 4 – Автоматты станция Маяковский-Волынов көшелерінің бұрышы

Әдістемелік тәсіл

Атмосфералық ластаушы заттардың концентрациялары мен метеорологиялық айнымалылар арасындағы статистикалық байланыстарды анықтау үшін регрессиялық



талдау қолданылды. Регрессиялық талдауда ерекше орынды сызықтық регрессия талдауы немесе екі кездейсоқ айнымалының x және y арасындағы байланысының сызықтық регрессия моделі алады. Сызықтық регрессия моделі теңдеуі келесі түрде болады:

$$y_x = ax + b_1 \quad (1)$$

мұндағы: x – айнымалы, ал a және b – регрессия коэффициенттері. Формула (1) сәйкес екі айнымалы x және y арасындағы сызықтық регрессия теңдеулері келесі түрде де көрсетілуі мүмкін:

$$\begin{aligned} y - y_0 &= R_{y/x} (x - x_0) \\ x - x_0 &= R_{x/y} (y - y_0) \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы:

x_0 және y_0 – x және y қатарларының арифметикалық ортасы; $R_{y/x}$ және $R_{x/y}$ – регрессия коэффициенттері.

Регрессия коэффициенттері ($R_{y/x}$ және $R_{x/y}$) келесі формулалар (4), (5) бойынша анықталады:

$$R_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (4)$$

$$R_{x/y} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad (5)$$

мұндағы:

r – x және y қатарлары арасындағы корреляция коэффициенті; σ – стандартты ауытқу.

Корреляция коэффициенті (r) келесі формула (6) бойынша есептеледі:

$$r = \frac{\sum_1^n (x_i - x_0)(y_i - y_0)}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - x_0)^2 \sum_1^n (y_i - y_0)^2}} \quad (6)$$

x және y қатарлары үшін орташа квадраттық ауытқулар (σ_x және σ_y) келесі формула (7), (8) бойынша анықталады:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - x_0)^2}{n - 1}} \quad (7)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - y_0)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Корреляция коэффициенті (r) – екі айнымалы арасындағы сызықтық байланыстың дәрежесін көрсететін критерий. Оның мәні -1.0 -ден $+1.0$ -ге дейінгі аралықты қамтиды. Егер $r=0$ болса, екі құбылыс арасында байланыс жоқ дегенді білдіреді, ал $r=\pm 1$ жағдайда байланыс функционалды болады. Басқа жағдайларда, яғни $-1 < r < +1$, байланыс корреляциялық сипатқа ие. Теріс мән белгілер арасындағы кері байланысты көрсетеді, ал оң мән – тура байланысты білдіреді. Оның абсолюттік мәні 1 -ге жақындаған сайын x пен y арасындағы корреляция соғұрлым күшті болады. Біз корреляцияның келесі дәрежелерін ажыратамыз:

- $|r| > 0.7$ – күшті корреляция
- $0.5 < |r| \leq 0.7$ – орташа корреляция
- $0.3 < |r| \leq 0.5$ – әлсіз корреляция
- $|r| < 0.3$ – елеусіз корреляция



Корреляция коэффициенті r -дың оң мәндерінде тура тәуелділік байқалады: y айнымалысы артқан сайын x айнымалысы да артады. Ал r -дың теріс мәндерінде x айнымалысы артқан сайын y -тің мәндері азаяды. Корреляция коэффициенті теріс болған жағдайда, регрессия коэффициенті де теріс болады және керісінше [15,16].

Нәтижелер мен талқылау

Қостанай қаласындағы соңғы төрт жылдық атмосфералық ластаушылардың ($PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO және O_3) концентрациясының метеорологиялық өлшемдерге (температура, ылғалдық және жел жылдамдығы) қатынасын корреляциялық және регресстік талдау әдістері арқылы бағаланды.

Атмосфералық ластаушылардың орташа күндік концентрациялардың және тәуліктік орташа температураның арасындағы корреляция коэффициенттері 1-кестеде көрсетілген.

1 - Кесте – Қостанай қаласындағы негізгі ауа ластаушы заттардың тәуліктік концентрациясы мен ауа температурасы арасындағы корреляция коэффициенттері.

Ауа ластағыш	Мониторинг бекеті				Регрессия моделі	R
	№1	№2	№3	№4		
$PM_{2.5}$	-0.084	0.052	0.813	-0.160	$y = 0.0534x + 0.0219$	$r = 0.154$
NO_2	0.068	-0.036	0.055	0.770	$y = 0.2198x + -0.3351$	$r = 0.760$
SO_2	-0.438	0.359	-0.602	-0.260	$y = -0.0427x + -0.1283$	$r = -0.131$
NO	0.866	0.977	0.156	0.695	$y = -0.1334x + 1.0071$	$r = -0.473$
CO	-0.814	-0.689	-0.910	-0.908	$y = -0.0502x + -0.7048$	$r = -0.623$
H_2S	-0.856	-0.401	-0.616	-0.830	$y = -0.0138x + -0.6412$	$r = -0.084$
O_3	0.603	0.779	0.508	-0.258	$y = -0.2853x + 1.1212$	$r = -0.805$

Ұсынылған мәліметтерден қарастырылып отырған қала аймақтарының көпшілігінде ауа температурасы мен озон (O_3) және азот монооксиді (NO) концентрациясы арасында күшті корреляция бар екенін көруге болады. Бұл күтілмелі нәтиже, өйткені озон күн радиациясының әсерінен пайда болады ал азот монооксиді (NO) концентрациясының температураға тәуелділігін көрсетеді. Көміртегі монооксиді (CO) көп жағдайда ауа температурасымен теріс корреляциясын көрсетеді, бұл әртүрлі температурада жану процестерінің өзгеруіне байланысты болуы мүмкін. Күкірт диоксиді (SO_2) көп жағдайда тәуелділік көрсетпейді, бірақ жалпы температура оған айтарлықтай әсер етеді. Кейбір қала аймақтарында бұл SO_2 концентрациясының жоғарылауына, ал басқаларында атмосферадағы эмиссиялар мен химиялық реакциялардың жергілікті көздеріне байланысты болуы мүмкін төмендеуіне ықпал етеді. Ауа температурасының ұсақ дисперсті қалқыма бөлшектерге ($PM_{2.5}$) әсерінің аз екенін әлсіз оң корреляция ($r = 0.1542$) бойынша көре аламыз.

Сонымен, температураның жоғарылауы озон (O_3) және азот монооксиді (NO) концентрациясының жоғарылауына ықпал етеді, бірақ көміртегі монооксиді (CO) деңгейін төмендетеді. Күкірт диоксиді (SO_2) әсері екідайлы және нақты жағдайларға байланысты.

Атмосфералық ластаушылардың орташа күндік концентрациялардың және ауа ылғалдығы арасындағы корреляция коэффициенттері 2-кестеде көрсетілген.

2 - Кесте – Қостанай қаласындағы негізгі ауа ластаушы заттардың тәуліктік концентрациясы мен ауа ылғалдығы арасындағы корреляция коэффициенттері.

Ауа ластағыш	Мониторинг бекеті				Регрессия моделі	R
	№1	№2	№3	№4		
PM _{2.5}	0.0356	0.0511	-0.6616	0.2443	$y = -0.0087x + -0.0610$	$r = -0.0281$
NO ₂	-0.2235	-0.1527	-0.2023	-0.8438	$y = -0.1910x + 0.1220$	$r = -0.7547$
SO ₂	0.2814	-0.2244	0.5096	0.3144	$y = 0.0833x + 0.0120$	$r = 0.3435$
NO	-0.9106	-0.9299	-0.3797	-0.7818	$y = 0.0937x + -0.9847$	$r = 0.4727$
CO	0.875	0.7259	0.983	0.9477	$y = 0.0475x + 0.7641$	$r = 0.5385$
H ₂ S	0.8535	0.4553	0.6633	0.8908	$y = 0.0320x + 0.6357$	$r = 0.2063$
O ₃	-0.5381	-0.6465	-0.4478	0.336	$y = 0.2821x + -1.0293$	$r = 0.8138$

Нәтижелер сүйенетін болсақ барлық қала аймақтарында CO және H₂S концентрациялары мен орташа ауа ылғалдылығы арасында өте оң корреляция бар екені анықталды. Бұл ылғалдылық осы заттардың таралуына және химиялық түрленуіне әсер ететіндіктен болуы мүмкін. Ауадағы азот монооксиді (NO) және озон (O₃) мөлшері ылғалдылықпен теріс корреляцияға ие. Ылғалды ауа озонның ыдырауына және азот монооксиді (NO) концентрациясының төмендеуіне ықпал етуі мүмкін. Ал, күкірт диоксиді (SO₂) оң және теріс байланыстарды көрсетеді, бұл ылғалдылықтың күкірт қосылыстарына күрделі әсерін көрсетеді.

Яғни, ылғалдылық көміртегі монооксиді (CO) және күкірт сутек (H₂S) жоғарылауына ықпал етеді, бірақ азот монооксиді (NO) және озон (O₃) концентрациясын төмендетеді, бұл олардың атмосферадағы химиялық реакцияларының ерекшеліктерімен түсіндірілуі мүмкін.

Атмосфералық ластаушылардың орташа күндік концентрациялардың және жел жылдамдығы арасындағы корреляция коэффициенттері 3-кестеде көрсетілген.

3 - Кесте – Қостанай қаласындағы негізгі ауа ластаушы заттардың тәуліктік концентрациясы мен жел жылдамдығы арасындағы корреляция коэффициенттері.

Ауа ластағыш	Мониторинг бекеті				Регрессия моделі	R
	№1	№2	№3	№4		
PM _{2.5}	-0.0195	0.7257	-0.0757	-0.627	$y = -0.2624x + 0.6568$	$r = -0.6098$
NO ₂	0.8271	0.4956	0.9104	0.4447	$y = -0.0732x + 0.8525$	$r = -0.4048$
SO ₂	0.6764	0.5875	-0.6923	-0.3886	$y = -0.4475x + 1.1644$	$r = -0.8383$
NO	0.0438	0.3132	0.753	0.5618	$y = 0.1994x + -0.0805$	$r = 0.8367$
CO	0.0886	-0.8364	-0.637	-0.1744	$y = -0.0590x + -0.2424$	$r = -0.1801$
H ₂ S	0.1293	0.6827	0.1571	-0.3428	$y = -0.1942x + 0.6421$	$r = -0.5982$
O ₃	-0.6625	0.235	-0.4951	-0.5669	$y = -0.0443x + -0.2616$	$r = -0.1394$

Жел жымдамдығы мен ауадағы азот диоксиді (NO_2) және азот монооксиді (NO) әсіресе 1, 2 және 3 мониторинг бекеттерінің аймақтары бойынша оң байланысқа ие. Бұл желдің таралуына ықпал ететін көлікпен байланысты шығарындылар көздерін көрсетуі мүмкін. Күкірт триоксиді (SO_2) және озон (O_3) желмен теріс корреляцияны көрсетеді, бұл олардың шайылуына немесе таралуына байланысты болуы мүмкін. Ал, көміртек монооксиді (CO) және күкірт сутек (H_2S) әр қала аймағына байланысты әр түрлі корреляцияны көрсетеді, бірақ жел күшейген сайын олардың деңгейі төмендейді. Бұл желдің жылдамдығының жоғарылауы азот диоксиді (NO_2) және азот монооксиді (NO) концентрациясының жоғарылауына ықпал етеді, бірақ олардың таралуына көмектесу арқылы күкірт триоксиді (SO_2) және озон (O_3) деңгейін төмендетеді.

Осылайша, біздің зерттеулерімізден көріп отырғанымыздай, ауа кеңістігін ластайтын заттар ауа температурасына әсер етуі мүмкін, сонымен қатар ауа райы жағдайлары өз кезегінде ауаны ластаушы заттардың концентрациясына ықпал етуі мүмкін, бұл зерттелетін көрсеткіштер арасындағы оң және теріс корреляциялық байланыстардан көрінеді.

Қорытынды

Атмосфералық ауаның ластануы мен метеорологиялық өлшемдер арасындағы байланысты зерттеу Қостанай қаласы мысалында жүргізілді. Жүргізілген корреляциялық талдау нәтижелері көрсеткендей, атмосфералық ластаушылардың ($\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , O_3) концентрациялары метеорологиялық айнымалылармен (температура, жел жылдамдығы және ылғалдық) корреляциялық тәуелділіктер анытады.

Деректерді талдау температура, ылғалдылық және желдің жылдамдығы атмосфералық ластаушы заттардың концентрациясына айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Озон (O_3) және азот монооксид (NO) температурамен оң корреляцияға ие, бұл олардың күн радиациясының әсерінен пайда болуына байланысты және салқын мезгілдерде жылыту кезеңі жүрзіліу барысында. Ылғалдылық көміртек монооксиді (CO) және күкірт сутек (H_2S) концентрациясының жоғарылауына ықпал етеді, азот монооксиді (NO) және озон (O_3) төмендетпейді, бұл химиялық реакциялардың жүруімен байланысты болуы мүмкін. Желдің жылдамдығы ластаушы заттардың дисперсиясына әсер етеді: қатты желде азот диоксиді (NO_2) және азот монооксиді (NO) концентрациялары жоғарылайды, ал SO_2 және O_3 ауадағы мөлшері азаяды, бұл олардың шайылуы мен таралуын көрсетеді.

Регресттік талдау нәтижелері атмосфералық ластаушылар мен метеорологиялық айнымалылар арасындағы сандық байланысты көрсетеді. Бұл зерттеулер Қостанай қаласының экологиялық жағдайын түсінуге және ауа сапасын бақылауға арналған тиімді стратегияларды әзірлеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ауа райы мен ауаның ластануы арасындағы тәуелділік қаладағы экологиялық мәселелерді шешуде маңызды рөл атқарады, соның ішінде ауа ластану деңгейін бақылауды жақсарту, экологиялық мониторинг жүйелерін жаңарту қажет екенін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері Қостанай қаласындағы экологиялық ахуалдың нашарлауын болдырмау үшін метеорологиялық факторларды ескере отырып, ауа сапасын бақылауды жетілдіру, әсіресе өнеркәсіптік және автокөлік шығарындыларын бақылау мәселелерін шешу қажеттігін айқындайды.

ӘДЕБИЕТ

[1] Мухаметжанова З.Т., Сакиев К.З., Шадетова А.Ж., Гребенева О.В., Хантурина Г.Р., Сейткасымова Г.Ж., Ибраева А.Д. Влияние метеорологических условий на уровень загрязнения территории города Аральск / З.Т. Мухаметжанова, К.З. Сакиев, А.Ж. Шадетова, О.В. Гребенева, Г.Р. Хантурина, Г.Ж. Сейткасымова, А.Д. Ибраева // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – №7. – С. 17-19.



[2] Кабдыкадыров А.А., Зубова О.А., Муканова Г.А., Даулетбаева М.М., Воронова Н.В. Климатический потенциал самоочищения атмосферы в г. Усть-Каменогорске / А.А. Кабдыкадыров, О.А. Зубова, Г.А. Муканова, Даулетбаева М.М., Воронова Н.В. // QazBSQA Хабаршысы. – 2021. – №1 (79). – С. 296-304.

[3] Турсумбаева М.О. Қазақстанның ірі қалаларындағы атмосфералық ауаның ластануына метеорологиялық жағдайлардың әсері: аңдатпа 8D050204 – «Метеорология» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (Ph.D.) дәрежесіне ізденіс / М.О. Турсумбаева. – Алматы, 2021. – 5 с.

[4] Губашева Б.Е., Цыганков В.И., Альпейсова Н.Қ. Метеорологиялық жағдайлардың атмосфералық ауа сапасына әсерін бағалау / Б.Е. Губашева, В.И. Цыганков, Н.Қ. Альпейсова // Наука и образование. – 2024. – Т.2 №1 (74). – С. 100-108.

[5] Safarov R., Shomanova Zh., Kopishev E., Nossenko Yu., Bexeitova Zh., Kamatov R. Spatial distribution of PM2.5 and PM10 pollutants in residential area of Pavlodar, Kazakhstan / R. Safarov, Zh. Shomanova, E. Kopishev, Yu. Nossenko, Zh. Bexeitova, R. Kamatov // Известия НАН РК. Серия химии и технологий. – 2023. – №4 (457). – С. 181-200.

[6] Медеуова Г.А., Мадиебеков А.С., Турашов Ш.Е. Өртүрлі синоптикалық жағдайларда Алматы қаласының ауасының ластануы / Г.А. Медеуова, А.С. Мадиебеков, Ш.Е. Турашов // География и водные ресурсы. – 2023. – №2. – С. 34-46.

[7] Смагулов Н.К., Конкабаева А.Е., Садыкова А.Ж., Мукашева Г.Ж., Серік А.Т. Ретроспективная оценка погодных условий в городах Петропавловске и Караганде за 11-летний период (2010–2020 годы) / Н.К. Смагулов, А.Е. Конкабаева, А.Ж. Садыкова, Г.Ж. Мукашева, А.Т. Серік // Вестник Карагандинского университета Серия Биология. Медицина. География. – 2023. – №2 (110). – С. 189-198

[8] Муратова Н. Т., Мадиебеков А.С. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха Астаны / Н.Т. Муратова, А.С. Мадиебеков // Молодой ученый. — 2019. — № 20 (258). — С. 64-69.

[9] Мукашева М.А., Тыкежанова Г.М. Качественная характеристика загрязнения атмосферного воздуха г. Караганды / М.А. Мукашева, Г.М. Тыкежанова // Bulletin d'eurotalent-fidjip. — 2016. — №1. — С.46-40.\

[10] Карабаева Ш.А., Тобажанова Р.Р. Загрязненность атмосферного воздуха в городе Актөбе / Ш.А. Карабаева, Р.Р. Тобажанова // Педагогическое взаимодействие: возможности и перспективы (14 мая 2019 года). Материалы I научно-практической конференции с международным участием. — 2019. — С. 613-617

[11] Омарова К.И., Коваль В.В. Анализ климатических показателей города Костанай, Костанайской области / Биологическое разнообразие азиатских степей: Материалы IV междунар.научн.конф (14 апреля 2022 г., г. Костанай, Казахстан). – Костанай: КРУ им. А.Байтурсынова, 2022. — С. 434-439.

[12] Сайт «WildTicket Asia» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://wildticketasia.com/ru/207-kostanay-city-kostanay-region-kazakhstan.html>

[13] Нуртазин А. В Костанайской области растет спрос на казахстанские автомобили [Электронный ресурс] / А. Нуртазин // Наш Костанай. — 2024. — Режим доступа: <https://top-news.kz/v-kostanajskoj-oblasti-rastet-spros-na-kazahstanskije-avtomobili/>

[14] Қостанай облысы бойынша қоршаған орта жай-күйі жөніндегі ақпараттық бюллетені. / Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі «Қазгидромет» РМҚ Қостанай облысы бойынша филиалы, 2024. — 23 с.

[15] Baubekova G., Tauakelov Ch., Daribayeva S., Gosteva L. The relationship of atmospheric pollutants and meteorological variables for the Sofia region, Bulgaria / G. Baubekova, Ch.Tauakelov1, S.Daribayeva, L. Gosteva // Ecologia Balkanica. — 2024. — Vol. 16. — P. 157-166.



[16] Kadinov, G. Relationship between Meteorological Variables and PM10 Concentration in Plovdiv District, Bulgaria / G. Kadinov // *Journal of Balkan Ecology*. — 2019. — Vol. 22. — P. 303-310.

REFERENCES

- [1] Muxametzhanova Z.T., Sakiev K.Z., Shadetova A.Zh., Grebeneva O.V., Xanturina G.R., Sejtkaşymova G.Zh., İbraeva A.D. (2015). Vliyanie meteorologicheskix uslovij na uroven' zagryazneniya territorii goroda Aral'sk [Influence of meteorological conditions on pollution level of Aralsk territory]. *Medicina truda i promyshlennaya e'kologiya – Occupational Health and Industrial Ecology*, 7, 17-19 [in Russian].
- [2] Kabdykadyrov A.A., Zubova O.A., Mukanova G.A., Dauletbaeva M.M., Voronova N.V. (2021). Klimaticheskij potencial samoochishheniya atmosfery v g. Ust'-Kamenogorske [The climate potential of atmospheric self-purification in Ust-Kamenogorsk]. *QazBSQA Xabarshysy – BULLETIN of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, 1 (79), 296-304 [in Russian].
- [3] Tursumbaeva M.O. (2021) Kazakstannyn iri kalalaryndagy atmosferalyk auany lastanuyna meteorologiyalyk zhagdajlardyn aseri [The impact of meteorological conditions on atmospheric air pollution in large cities of Kazakhstan] *Doctor's astract*. Almaty [in Kazakh].
- [4] Gubasheva B.E., Cygankov V.I., Al'pejsova N.K. (2024) Meteorologiyalyk zhagdajlardyn atmosferalyk aua sapasyna aserin bagalau [Assessment of the impact of meteorological conditions on atmospheric air quality]. *Nauka i obrazovanie – Science and education*, Vol.2,1 (74), 100-108 [in Kazakh].
- [5] Safarov R., Shomanova Zh., Kopishev E., Nossenکو Yu., Bexeitova Zh., Kamatov R. (2023). Spatial distribution of PM2.5 and PM10 pollutants in residential area of Pavlodar, Kazakhstan. *Izvestiya NAN RK. Seriya ximii i texnologij – News of the academy of sciences of the republic of Kazakhstan series chemistry and technology*, 4 (457), 181-200 [in English].
- [6] Medeuova G.A., Madibekov A.S., Turashov Sh.E. (2023) Artyrli sinoptikalyk zhagdajlarda Almaty kalasynyn auasynyn lastanuy [Air pollution in the city of Almaty in different synoptical situation]. *Geografiya i vodnye resursy – Geography and water resources*, 2, 34-46 [in Kazakh].
- [7] Smagulov N.K., Konkabaeva A.E., Sadykova A.Zh., Mukasheva G.Zh., Serik A.T. (2023). Retrospektivnaya ocenka pogodnyx uslovij v gorodax Petropavlovskoy i Karagandy za 11-letnij period (2010–2020 gody) [Retrospective assessment of weather conditions in the cities of Petropavlovsk and Karaganda over an 11-year period (2010-2020)]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta Seriya Biologiya. Medicina. Geografiya – Bulletin of the Karaganda University Biology Medicine Geography Series*, 2 (110), 189-198 [in Russian].
- [8] Muratova N. T., Madibekov A.S. (2019). Ocenka urovnya zagryazneniya atmosfernogo vozduxa Astany [Assessment of the level of atmospheric air pollution in Astana]. *Molodoj uchenyj — Young Scientist*, 20 (258), 64-69 [in Russian].
- [9] Mukasheva M.A., Tykezhanova G.M. (2016). Kachestvennaya xarakteristika zagryazneniya atmosfernogo vozduxa g. Karagandy [Qualitative characteristics of air pollution in Karaganda]. *Bulletin d'eurotalent-fidjip — Eurotalent-Fijip Newsletter*, 1, 46-40 [in Russian].
- [10] Karabaeva Sh.A., Tobazhanova R.R. (2019) Zagryaznenost' atmosfernogo vozduxa v gorode Aktobe [Air pollution in Aktobe city]. *Pedagogicheskoe vzaimodejstvie: vozmozhnosti i perspektivy (14 maya 2019 goda). Materialy I nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem — Pedagogical interaction: opportunities and prospects (May 14, 2019). Proceedings of the 1st scientific and practical conference with international participation*. (pp. 613-617) [in Russian].



[11] Omarova K.I., Koval' V.V. (2022) Analiz klimaticheskix pokazatelej goroda Kostanaj, Kostanajskoj oblasti [Analysis of climate indicators of the city of Kostanay, Kostanay region]. Biological diversity of Asian steppes `22: IV mezhdunar.nauchn.konf (14 aprelya 2022 g., g. Kostanaj, Kazaxstan) — IV International Scientific Conference. (pp. 434-439). Kostanaj: KRU im. A.Bajtursynova [in Russian].

[12] Sajt «WildTicket Asia». wildticketasia.com/ru/207-kostanay-city-kostanay-region-kazakhstan.html Retrieved from <https://wildticketasia.com/ru/207-kostanay-city-kostanay-region-kazakhstan.html> [in Russian].

[13] Nurtazin A. (2024). V Kostanajskoj oblasti rastet spros na kazaxstanskije avtomobili [Demand for Kazakhstani cars is growing in Kostanay region]. *Nash Kostanaj — Our Kostanay*. Retrieved from <https://top-news.kz/v-kostanajskoj-oblasti-rastet-spros-na-kazaxstanskije-avtomobili/> [in Russian].

[14] Қостанай облысы бойынша қоршаған орта жағ-қыи зһөніндегі ақпараттық бюллетени. [Newsletter on the state of the environment in Kostanay region]. (2024). *Kostanay region branch of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan RSE "Kazhydromet"* [in Kazakh].

[15] Baubekova G., Tauakelov Ch., Daribayeva S., Gosteva L. (2024) The relationship of atmospheric pollutants and meteorological variables for the Sofia region, Bulgaria. *Ecologia Balkanica*, 16, 157-166 [in English].

[16] Kadinov, G. (2019) Relationship between Meteorological Variables and PM10 Concentration in Plovdiv District, Bulgaria. *Journal of Balkan Ecology*, 22, 303-310 [in English].

Дарибаева С.А., Казбекова К.А.
СВЯЗЬ МЕЖДУ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ И
АТМОСФЕРНЫМИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМИ, ЭМИССИЯМИ
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КОСТАНАЯ)

Аннотация. В данной работе исследуется взаимосвязь между метеорологическими параметрами (температура, влажность, скорость ветра) и концентрацией атмосферных загрязнителей (NO₂, CO, O₃, SO₂, PM_{2.5}) в городе Костанай. С помощью корреляционного и регрессионного анализа выявлены статистические зависимости, определяющие влияние погодных условий на уровень загрязнения воздуха. Установлено, что температура положительно коррелирует с озоном (O₃) и оксидом азота (NO), что объясняется их фотохимическими реакциями. Влажность способствует увеличению концентрации CO и H₂S, но снижает содержание NO и O₃. Скорость ветра влияет на дисперсию загрязнителей: при сильном ветре повышается концентрация NO₂ и NO, но снижается уровень SO₂ и O₃. Полученные данные помогают оценить экологическую ситуацию в регионе и могут быть использованы для разработки стратегий улучшения качества воздуха и мониторинга загрязнения.

Ключевые слова: загрязнители воздуха; скорость ветра; взвешенные частицы; оксиды азота; монооксид углерода; озон; корреляция; регрессионный анализ; метеорологические переменные; мониторинг.

Daribayeva Sevara, Kazbekova Karina
THE RELATIONSHIP BETWEEN METEOROLOGICAL VARIABLES AND
ATMOSPHERIC POLLUTANTS, EMISSIONS (USING THE EXAMPLE OF THE
KOSTANAY CITY)

Annotation. This study examines the relationship between meteorological parameters (temperature, humidity, wind speed) and the concentration of atmospheric pollutants (NO₂, CO, O₃, SO₂, PM_{2.5}) in the city of Kostanay. Using correlation and regression analysis, statistical



dependencies have been identified that determine the influence of weather conditions on the level of air pollution. It has been found that temperature positively correlates with ozone (O_3) and nitrogen oxide (NO), which is explained by their photochemical reactions. Humidity increases the concentration of CO and HS, but reduces the content of NO and o. Wind speed affects the dispersion of pollutants: with strong winds, the concentration of NO_2 and NO increases, but the level of SO_2 and O_3 decreases. The data obtained helps to assess the environmental situation in the region and can be used to develop strategies for improving air quality and pollution monitoring.

Keywords: air pollutants; wind speed; floating particles; nitrogen oxides; carbon monoxide; ozone; correlation; regression analysis; meteorological variables; monitoring.