

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

---

УДК 004.89

10.5281/zenodo.3594649

**Н.М.Лыченко**

*Институт машиноведения и автоматизации НАН КР, Бишкек, Кыргызстан.*

*E-mail: [nlychenko@mail.ru](mailto:nlychenko@mail.ru)*

### РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧАСТИЦ PM<sub>2.5</sub> В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г.БИШКЕК

В работе представлены результаты регрессионного анализа концентраций загрязнения воздуха частицами PM<sub>2.5</sub> и метеорологических данных, таких как скорость ветра, температура, относительная влажность воздуха, температура точки росы, интенсивность осадков и атмосферное давление для города Бишкек в период с 9 февраля по 25 ноября 2019г. Исследование проведено с целью выявления влияния метеопараметров на значения концентраций PM<sub>2.5</sub> и дальнейшего использования этой информации для построения моделей прогноза.

**Ключевые слова:** корреляции, регрессионный анализ, метеорологические параметры, концентрации PM<sub>2.5</sub>.

**Введение.** Уровень концентрации загрязнения атмосферного воздуха коррелирует с различными метеорологическими факторами и их сочетаниями [1–6]. Имея наборы данных о концентрации загрязнения воздуха и метеорологические данные, можно рассчитать статистические зависимости между переменными, используя, например, методы регрессионного анализа. Можно установить, насколько связаны значения концентраций загрязняющих веществ и метеоданные, фактически измеренные в аналогичных обстоятельствах. В литературе представлены некоторые исследования, в которых исследуется корреляция загрязнения воздуха и метеопараметров. Корреляция загрязнения SO<sub>2</sub> и PM в городе Элязыг в зимний, осенний и весенний периоды с такими метеорологическими параметрами, как скорость ветра, температура, атмосферное давление, солнечная радиация и относительная влажность, была исследована в [2]. В [3] проведен корреляционный анализ AQI и таких метеопараметров, как максимальная суточная скорость ветра и суточная термическая экскурсия. Корреляции загрязнения SO<sub>2</sub> и PM в городе Эрзурум (Турция) с такими метеорологическими параметрами, как скорость ветра, температура, атмосферное давление, осадки и относительная влажность, были исследованы в [4]. В [5] изучено влияние метеорологических параметров на индекс качества воздуха в Исфахане. Простые регрессии построены в [6] для иллюстрации влияния метеорологических факторов на уровень AQI в различных городских районах восточной Индии. Как отмечено в [7], дальнейшее развитие исследования процессов загрязнения атмосферного воздуха в г.Бишкек связано с учетом метеорологических факторов, влияющих на загрязнение воздуха в городе. Это позволит одновременно учитывать большое количество влияющих параметров, и

наиболее полно отразит характерные для исследуемой системы причинно-следственные связи между параметрами.

В настоящей работе представлены результаты регрессионного анализа концентраций загрязнения воздуха частицами PM2.5 и метеорологических данных, таких как скорость ветра, температура, относительная влажность воздуха, температура точки росы, интенсивность осадков и атмосферное давление для города Бишкек в период с 9 февраля по 25 ноября 2019 г. Исследование проведено с целью выявления влияния метеопараметров на значения концентраций PM2.5 и дальнейшего использования этой информации для построения моделей прогноза с целью предупреждения неблагоприятной экологической ситуации.

**Методы и модели.** Регрессионный анализ [8] используется для нахождения взаимосвязи между независимыми переменными  $x_t$  и зависимыми переменными  $y_t$ , представленными выборками наблюдений, и получения наилучшего из доступных уравнений для выбранной модели аппроксимации:  $y_{ft} = f(x_t)$  ( $y_{ft}$  – рассчитанное по модели значение независимой переменной в срок  $t$ ). Если число независимых переменных  $x$  больше одного, используется анализ множественной регрессии.

Для установления корреляций между зависимой и независимыми переменными анализируются по отдельности модели:

$$y_{ft} = k_1x_{1t} + b_1, \quad y_{ft} = k_2x_{2t} + b_2, \quad y_{ft} = k_mx_{mt} + b_m \quad \dots$$

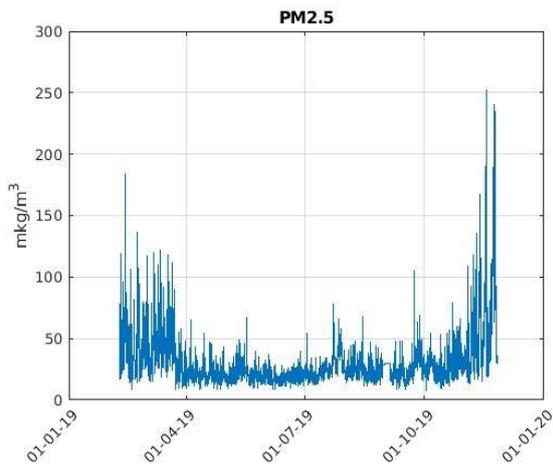
где  $a$  – константа регрессии,  $b_m$  – коэффициенты регрессии,  $m$  – количество независимых переменных (факторов, предикатов). Значения константы и коэффициентов определяются с использованием метода наименьших квадратов, который минимизирует ошибку  $e_t = (y_t - y_{ft})$  или остатки модели. Для определения показателя качества соответствия линейной модели обычно используется коэффициент детерминации  $R^2$  или – для данного случая – коэффициент корреляции  $R$ :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - y_{ft})^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}.$$

В настоящем исследовании концентрации PM2.5 рассматривались как зависимые переменные. Метеопараметры: температура воздуха, температура точки росы, влажность воздуха, скорость ветра, давление, интенсивность осадков рассматривались как независимые переменные.

**Данные и вычислительные эксперименты.** В работе использованы данные о содержании PM2.5 в атмосферном воздухе г. Бишкек, размещенные на сайте [9]. Данные содержатся в CSV – формате и включают данные о концентрации PM2.5 ( $\text{mkg/m}^3$ ), начиная с 06.02.19 по настоящее время (период измерения – 1 час). На рисунке 1 представлено изменение содержания PM2.5 в атмосферном воздухе г. Бишкек за период с 09.02.2019 по 25.11.2019 с интервалом в 3 часа<sup>1</sup>. При этом с 30.08.2019 по 04.09.2019 измерения отсутствуют.

<sup>1</sup> Данные для исследования подготовлены Л.А. Комбаровою.



Период наблюдений	PM2.5	
	<i>mean</i> , mkg/m <sup>3</sup>	<i>σ</i> , mkg/m <sup>3</sup>
09.02.2019-25.11.2019	29.6322	21.9179
09.02.2019-23.03.2019	43.9942	23.8089
24.03.2019-31.10.2019	22.2688	10.4384
01.11.2019-25.11.2019	62.4100	44.3531

Рисунок 1 – Значения концентраций PM2.5 в воздухе г. Бишкек за период 09.02.2019-25.11.2019 и их статистические характеристики в различные периоды наблюдений.

На графиках отчетливо отмечаются два скачка в значениях PM2.5 и AQI: 23 марта 2019 г. значения резко падают и 1 ноября 2019 г. значения резко возрастают. Указанные даты – конец и начало отопительного сезона в городе. Также на рисунке 1 представлены среднее (математическое ожидание) *mean* и стандартное (средне-квадратическое) отклонение  $\sigma$  за весь период наблюдений, а также за периоды 09.02.2019–23.03.2019, 24.03.2019–31.10.2019, 1.11.2019–25.11.2019. Такое разбиение на периоды определено исходя из графика работы ТЭЦ г. Бишкек как, одного из основных источников загрязнений воздуха в городе. Учитывая, что октябрь месяц в 2019 году был относительно теплым (средняя температура воздуха – 12.6 °С), предположено, что отопление частного сектора в этот период не оказывало существенного влияния на показатели загрязнения воздуха.

Для исследования влияния метеорологических факторов (таких, как скорость ветра, температура, относительная влажность воздуха, температура точки росы, осадки и атмосферное давление) на уровень загрязнения атмосферного воздуха использованы данные с сервера международного обмена NOAA (США) в формате SYNOP. На этом сервере хранятся измерения метеопараметров, произведенные более чем 90000 наземными станциями мира, в том числе, метеостанцией Бишкек (WMO\_ID=38353). Данные получены через сайт [10] в виде Excel-файла за период с 09.02.19 по 25.11.19.

Графики изменений метеопараметров за указанный период представлены на рисунке 2. На этом рисунке: Air temperature, T – температура воздуха в градусах Цельсия (°C), Dew point, Td – температура точки росы – температура, при понижении до которой содержащийся в воздухе водяной пар достигнет насыщения в градусах Цельсия (°C), Wind Speed, Ws – скорость ветра в метрах в секунду (м/с), Relative Humidity, RH – относительная влажность воздуха в процентах (%), Atmosphere Pressure, P- атмосферное давление в гектопаскалях (гПа), Precipitation Rate, PR – показатель осадков: 1 – ливень или сильный дождь (снег), 0.75 – дождь (снег) или слабый ливневый дождь, 0.5 – слабый дождь (снег), 0.25 – морось. На всех графиках значения переменных на интервале 30.08.19 – 04.09.19 заменены их средними значениями и в дальнейших расчетах не учитываются, т.к. измерения концентрации PM2.5 в этот период отсутствуют.

**Результаты и обсуждение.** В таблицах 1–6 представлены средние значения и стандартные отклонения метеорологических параметров в различные периоды наблюдений. Для каждого из периодов наблюдений с помощью линейного регрессионного анализа были определены уравнения регрессии между концентрациями PM2.5 и

метеорологическими параметрами (для каждого в отдельности). Также были определены корреляционные коэффициенты  $R$ . Результаты представлены в таблицах 1-6.

В таблице 1 представлена оценка влияния температуры атмосферного воздуха  $T$ , измеренной в срок  $i$  на концентрацию  $PM_{2.5}$ , измеренную также в срок  $i$  для различных периодов времени. Также показано влияние инерционного фактора, т.е. влияние температуры атмосферного воздуха  $T$ , измеренной в сроки  $i-1$ ,  $i-2$  (соответственно на 3 часа и 6 часов ранее), на концентрацию  $PM_{2.5}$ , измеренную в срок  $i$ .

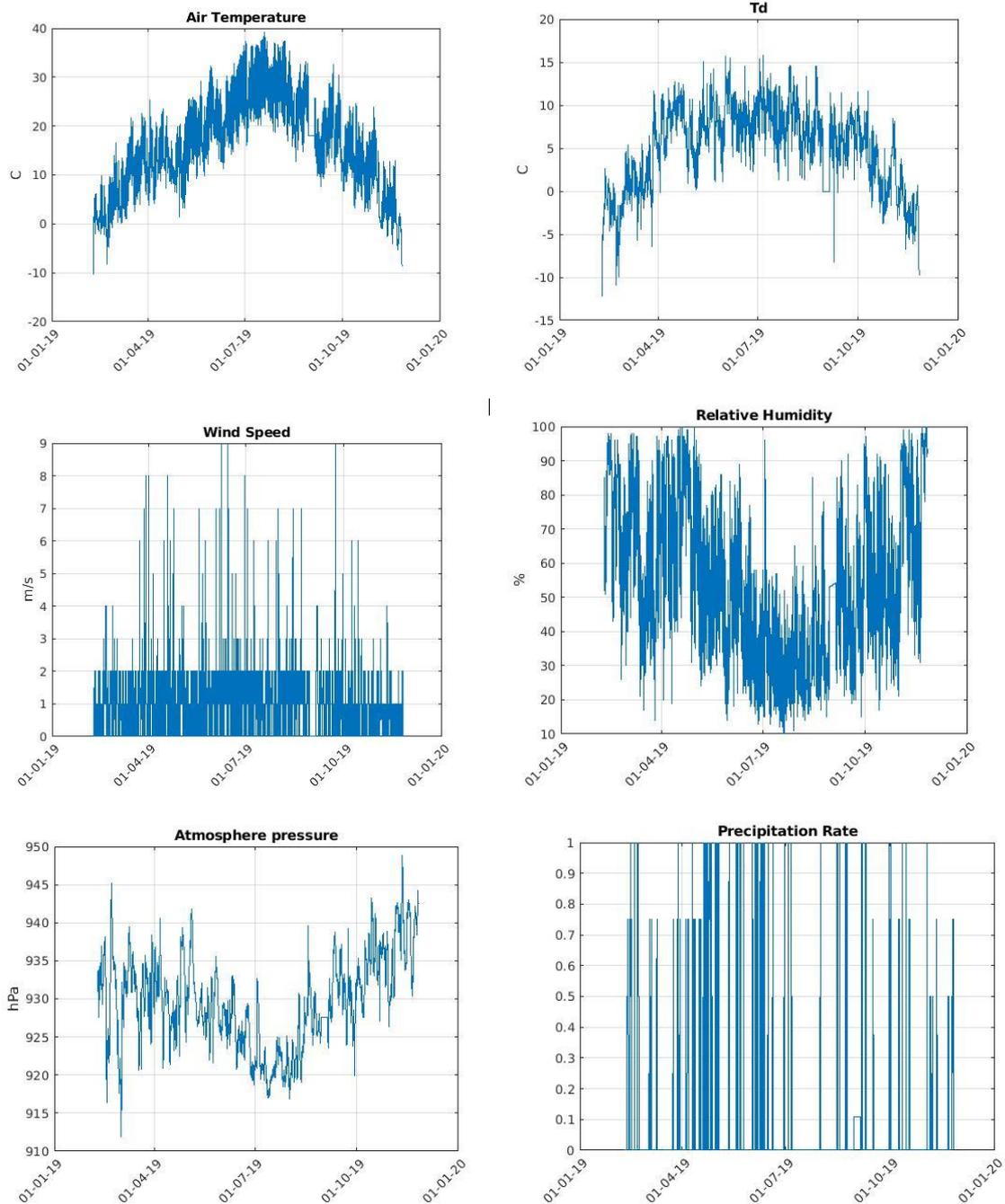


Рисунок 2 – Измеренные значения метеопараметров в г. Бишкек (станция) за период 09.02.19 – 25.11.19

Таблица 1 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM_{2.5} = k*T+b$

$T$ (Температура)	$k$	$b$	$mean$	$std$	$R$
09/02/2019 -- 25/11/2019					
$i$	-0.7996	42.5278	16.1154	9.8356	-0.3553
$(i-1)$	-0.7166	41.1913	16.1186	9.8376	-0.3183
$(i-2)$	-0.7352	41.4932	16.1154	9.8356	-0.3264
24/03/2019 – 31/10/2019					
$i$	0.1210	20.5967	19.7450	7.8773	0.0966
$i-1$	0.2196	18.6324	19.7450	7.8773	0.1768
$i-2$	0.1948	19.1229	19.7450	7.8773	0.1569
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
$i$	-0.8268	54.5637	4.5994	5.7113	-0.1390
$i-1$	-0.3977	52.5949	4.5994	5.7113	-0.0668

Из таблицы 1 видно, что в зимний период и за весь период наблюдений концентрации  $PM_{2.5}$  уменьшаются с повышением температуры, что может быть объяснено, в первую очередь, уменьшением расхода топлива на отопление. При этом влияние температуры, измеренной в более ранние сроки ( $i-1$ ,  $i-2$ ) ослабевает. Для летнего периода с повышением температуры концентрация частиц в воздухе незначительно повышается, при этом более существенным оказывается влияние в предыдущие сроки измерений  $i-1$  и  $i-2$ . На рисунке 3 представлены графики изменения  $PM_{2.5}$  в зависимости от температуры воздуха для периодов 09/02/2019 – 25/11/2019 и 24/03/2019 – 31/10/2019.

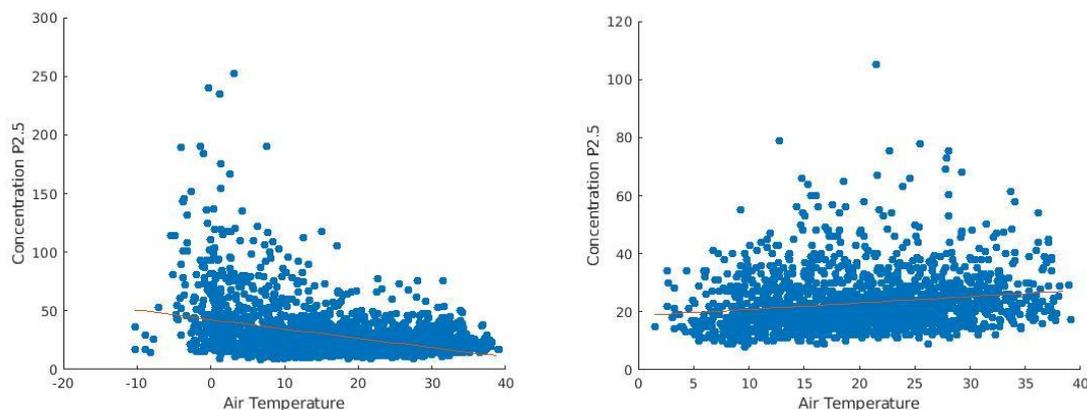


Рисунок 3 – Зависимость концентраций  $PM_{2.5}$  от температуры  $T$ :

- а)  $PM_{2.5}(i) = -0.7996 * T(i) + 42.5278$  для периода 09/02/2019 - 25/11/2019;
- б)  $PM_{2.5}(i) = 0.2196 * T(i-1) + 18.6324$  для периода 24/03/2019 - 31/10/2019

В таблице 2 представлена оценка влияния температуры точки росы  $Td$ , измеренной в срок  $i$ , на концентрацию  $PM_{2.5}$ , измеренную также в срок  $i$  для различных периодов времени: коэффициенты корреляции, соответственно -0.3946, -0.0277, -0.0479. Однако, оказалось, что влияние инерционного фактора в данном случае более выраженное: наибольшее влияние имеет температура точки росы, измеренная в срок  $i-5$  (на 15 часов ранее) – для всего периода наблюдений и в зимний период, для летнего периода этот срок равен  $i-2$  (на 6 часов ранее).

Таблица 2 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM2.5=k*Td+b$ 

$Td$ (Точка росы)	$k$	$b$	$mean$	$std$	$R$
09/02/2019 – 25/11/2019					
$i$	-1.8306	39.1591	5.2019	4.7671	-0.3946
$i-1$	-1.9671	39.8637	5.2019	4.7671	-0.4247
$i-2$	-2.1189	40.6468	5.2019	4.7671	-0.4582
$i-3$	-2.1616	40.8610	5.2019	4.7671	-0.4683
$i-4$	-2.1627	40.8577	5.2019	4.7671	-0.4696
$i-5$	-2.2263	41.2034	5.2019	4.7671	-0.4812
$i-6$	-2.1996	41.0616	5.2019	4.7671	-0.4756
$i-7$	-2.1482	40.7925	5.2019	4.7671	-0.4647
$i-8$	-2.0474	40.2671	5.2019	4.7671	-0.4430
24/03/2019 – 31/10/2019					
$i$	-0.0786	23.5233	7.0804	3.4522	-0.0277
$i-1$	-0.3463	25.4192	7.0804	3.4522	-0.1220
$i-2$	-0.5273	26.7018	7.0804	3.4522	-0.1857
$i-3$	-0.5096	26.5784	7.0804	3.4522	-0.1792
$i-4$	-0.4223	25.9600	7.0804	3.4522	-0.1484
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
$i$	-0.5044	50.3741	-0.7651	3.2001	-0.0479
$i-1$	-0.8369	50.1120	-0.7651	3.2001	-0.0796
$i-2$	-1.6218	46.4935	-0.7651	3.2001	-0.1547
$i-3$	-2.1452	49.0753	-0.7651	3.2001	-0.2048
$i-4$	-2.4390	48,8314	-0.7651	3.2001	-0.2332
$i-5$	-2.6016	48.6863	-0.7651	3.2001	-0.2492
$i-6$	-2.2120	48.9853	-0.7651	3.2001	-0.2122
$i-7$	-1.8262	49.2863	-0.7651	3.2001	-0.1753
$i-8$	-1.3470	49.6692	-0.7651	3.2001	-0.1294

На рисунке 4 представлены графики изменения  $PM2.5$  в зависимости от температуры точки росы для всего периода наблюдений 09/02/2019 - 25/11/2019.

Оценка влияния скорости ветра  $Ws$  на загрязнение частицами  $PM2.5$  представлена в таблице 3. Из анализа таблицы следует, что корреляции скорости ветра для зимнего и всего периодов наблюдений – отрицательные, более выраженные в зимний период. Существуют инерционные связи: для зимнего периода наибольший коэффициент корреляции  $R = -0.2453$  соответствует сроку  $i-6$ , т.е. интервалу времени в 18 часов. Для всего периода наблюдений корреляция слабее:  $R = -0.1019$  для  $i-1$  (интервал времени 3 часа). Как показывают цифры из таблицы 1.6, в летний период времени наибольший коэффициент корреляции  $R = -0.1280$  соответствует интервалу  $i-5$  (15 часов), однако для других интервалов  $R$  может принимать несущественные и даже положительные значения.

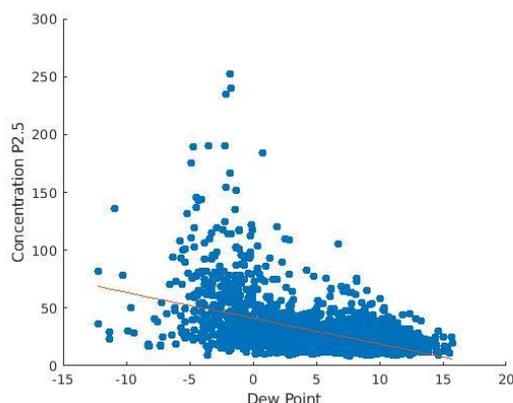


Рисунок 4 – Зависимость концентраций  $PM_{2.5}$  от температуры точки росы  $Td$ :  
 $PM_{2.5}(i) = -2.2263 * Td(i-5) + 41.2034$  для периода 09/02/2019 – 25/11/2019

Таблица 3 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM_{2.5} = k * W_s + b$

WS (Скорость ветра)	$k$	$b$	$mean$	$std$	$R$
09/02/2019 – 25/11/2019					
$i$	-1.5295	31.3837	1.1394	1.0841	-0.0748
$i-1$	-2.0828	32.0134	1.1394	1.0841	-0.1019
$i-2$	-1.8846	31.7885	1.1394	1.0841	-0.0922
24/03/2019 – 31/10/2019					
$i$	0.4657	22.4067	1.2023	1.1489	0.0546
$i-1$	-0.0542	23.0321	1.2023	1.1489	-0.0064
$i-2$	0.2161	22.7069	1.2023	1.1489	0.0253
$i-3$	-0.1861	23.1907	1.2023	1.1489	-0.0218
$i-4$	-0.9947	24.1635	1.2023	1.1489	-0.1166
$i-5$	-1.0922	24.2808	1.2023	1.1489	-0.1280
$i-6$	-0.9962	24.1652	1.2023	1.1489	-0.1168
$i-7$	-0.1526	23.1504	1.2023	1.1489	-0.0179
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
$i$	-6.3827	56.7720	0.9393	0.8154	-0.1527
$i-2$	-6.5410	56.9209	0.9393	0.8154	-0.1565
$i-3$	-7.1665	57.4965	0.9393	0.8154	-0.1712
$i-4$	-12.5805	55.0870	0.9393	0.8154	-0.2187
$i-5$	-9.3373	59.5528	0.9393	0.8154	-0.2235
$i-6$	-10.2376	60.3813	0.9393	0.8154	-0.2453
$i-7$	-5.0298	55.4894	0.9393	0.8154	-0.1205

На рисунке 5 представлены графики изменения  $PM_{2.5}$  в зависимости от скорости ветра для периодов 09/02/2019 – 23/03/2019 и 24/03/2019 – 31/10/2019.

Оценка влияния относительной влажности  $RH$ , измеренной в сроки  $i, i-1, i-2, i-3$ , на концентрацию  $PM_{2.5}$ , измеренную в срок  $i$ , для различных периодов времени представлена в таблице 4. Для всего периода наблюдений и для зимнего периода это влияние имеет положительные корреляции, при этом инерционность процесса не отмечается. Для летнего периода увеличение относительной влажности приводит к уменьшению загрязнения частицами, при этом наиболее выраженная корреляция – с измерениями относительной влажности, предшествующими измерениям концентрации  $PM_{2.5}$  (со сроком наблюдения  $i-1$ ).

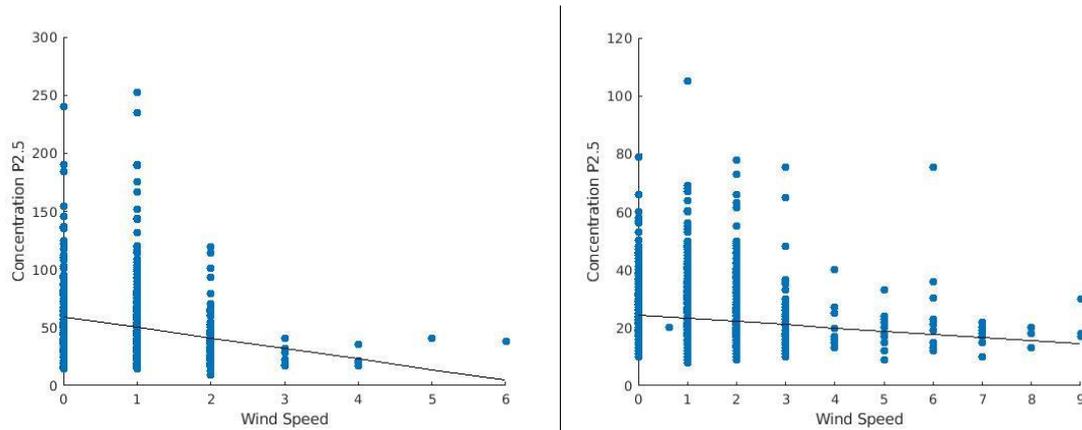


Рисунок 5 – Зависимость концентраций  $PM_{2.5}$  от скорости ветра  $Ws$ :  
 а)  $PM_{2.5}(i) = -12.5805 * Ws(i-4) + 55.0870$  для периода 09/02/2019 – 23/03/2019;  
 б)  $PM_{2.5}(i) = -1.0922 * Ws(i-5) + 24.2808$  для периода 24/03/2019 – 31/10/2019

Таблица 4 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM_{2.5} = k * RH + b$

$RH$ (Относительная влажность)	$k$	$b$	$mean$	$std$	$R$
09/02/2019 – 25/11/2019					
$i$	0.2035	18.5099	54.6906	23.5834	0.2166
$i-1$	0.1431	21.8200	54.6906	23.5834	0.1522
24/03/2019 – 31/10/2019					
$i$	-0.0625	26.0481	49.2655	21.9713	-0.1404
$i-1$	-0.1109	28.4365	49.2655	21.9713	-0.2493
$i-2$	-0.1059	28.1930	49.2655	21.9713	-0.2382
$i-3$	-0.0812	26.9734	49.2655	21.9713	-0.1825
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
$i$	0.2300	34.2322	71.9026	20.0114	0.1351
$i-1$	0.0660	46.0228	71.9026	20.0114	0.0388

На рисунке 6 представлены графики изменения  $PM_{2.5}$  в зависимости от относительной влажности  $RH$  для периодов 09/02/2019 - 25/11/2019 и 24/03/2019 - 31/10/2019.

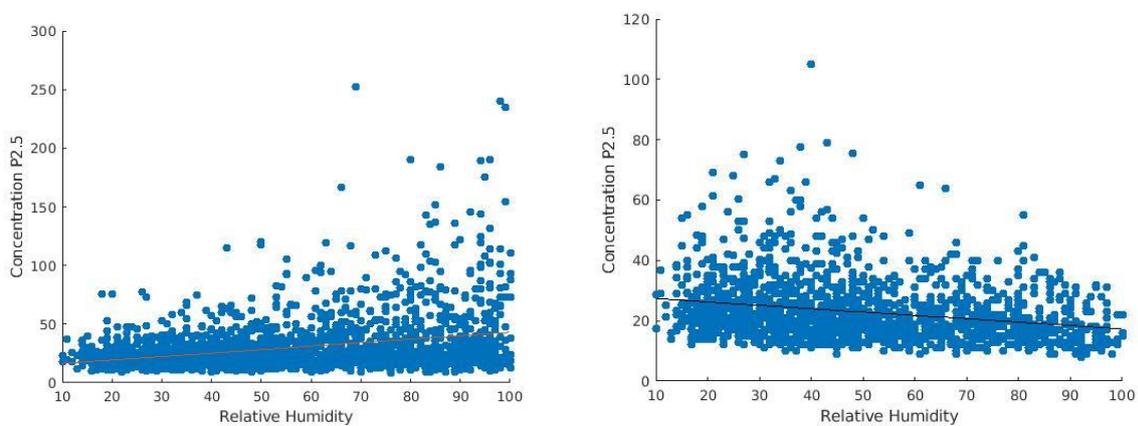


Рисунок 6 – Зависимость концентраций  $PM_{2.5}$  от относительной влажности:  
 а)  $PM_{2.5}(i) = 0.2035 * RH(i) + 18.5099$  для периода 09/02/2019 – 25/11/2019;  
 б)  $PM_{2.5}(i) = -0.1109 * RH(i-1) + 28.4365$  для периода 24/03/2019 – 31/10/2019

Оценка влияния атмосферного давления  $P$  на изменение концентрации  $PM_{2.5}$  представлена в таблице 5. Цифры показывают, что концентрации  $PM_{2.5}$  немного увеличиваются с увеличением атмосферного давления для всего периода наблюдений и зимнего периода. Однако в летний период зависимость обратная, но несущественная.

Таблица 5 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM_{2.5}=k*P+b$

$P$ (Атмосферное давление)	$k$	$b$	$mean$	$std$	$R$
09/02/2019 – 25/11/2019					
$i$	0.9425	-846.4854	929.5938	6.1097	0.2641
$i-1$	0.9344	-838.9812	929.5938	6.1097	0.2570
$i-2$	0.9276	-832.6728	929.5938	6.1097	0.2548
24/03/2019 – 31/10/2019					
$i$	-0.0635	81.8786	928.3351	5.4428	-0.0362
$i-1$	-0.1162	130.8185	928.3351	5.4428	-0.0646
$i-2$	-0.1420	155.6084	928.3351	5.4428	-0.0795
$i-3$	-0.1081	123.2850	928.3351	5.4428	-0.0601
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
$i$	1.2	-1055.7	933.5004	6.4654	0.2244
$i-1$	1.2	-1034.7	933.5004	6.4654	0.2197
$i-2$	1.2	-1073.4	933.5004	6.4654	0.2270

На рисунке 7 представлены графики изменения  $PM_{2.5}$  в зависимости от атмосферного давления  $P$  для периодов 09/02/2019 - 25/11/2019 и 24/03/2019 - 31/10/2019.

Для оценки влияния осадков в настоящем исследовании была введена безразмерная величина – показатель осадков  $PR$ , влияние которого на концентрацию  $PM_{2.5}$  представлено в таблице 6. Как и следовало ожидать, для всех периодов наблюдений корреляции отрицательные, однако они несущественные для всего периода и зимнего периода и более выраженные для летнего периода, при этом большее влияние имеет  $PR$ , измеренный в срок  $i-2$ . На рисунке 8 представлен график изменения  $PM_{2.5}$  в зависимости от показателя осадков  $PR$  для этого периода.

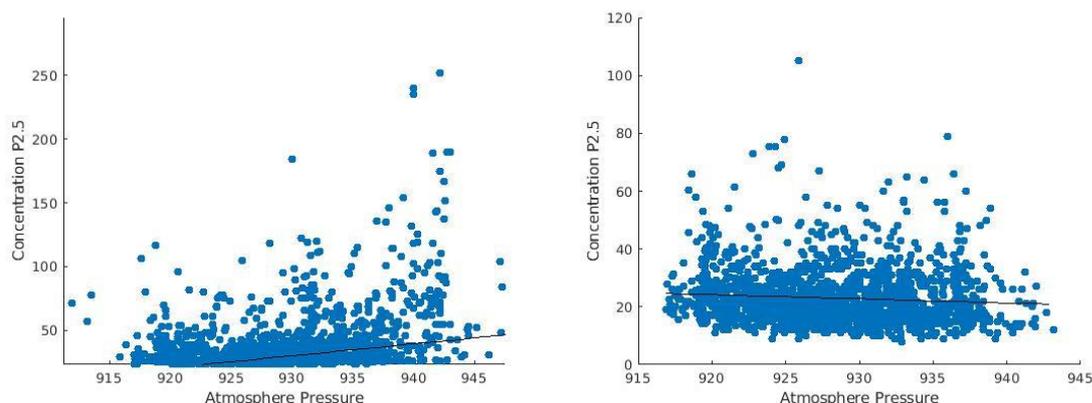


Рисунок 7 – Зависимость концентраций  $PM_{2.5}$  от атмосферного давления:  
 а)  $PM_{2.5}(i) = 0.9425*P(i) - 846.4854$  для периода 09/02/2019 – 25/11/2019;  
 б)  $PM_{2.5}(i) = -0.142*P(i-1) + 155.6084$  для периода 24/03/2019 – 31/10/2019

Таблица 6 – Корреляционные коэффициенты и коэффициенты уравнений линейной регрессии  $PM_{2.5}=k*PR+b$

<i>PR</i> (Показатель осадков)	<i>k</i>	<i>b</i>	<i>mean</i>	<i>std</i>	<i>R</i>
09/02/2019 – 25/11/2019					
<i>i</i>	-4.9672	30.1508	0.1031	0.2726	-0.0612
<i>i-1</i>	-6.0344	30.2585	0.1031	0.2726	-0.0741
<i>i-2</i>	-7.7348	30.4310	0.1031	0.2726	-0.0949
<i>i-3</i>	-7.1472	30.3694	0.1031	0.2726	-0.0877
24/03/2019 – 31/10/2019					
<i>i</i>	-4.5779	23.4398	0.1026	0.2802	-0.1312
<i>i-1</i>	-5.2161	23.5072	0.1026	0.2802	-0.1496
<i>i-2</i>	-6.6122	23.6547	0.1026	0.2802	-0.1899
<i>i-3</i>	-5.8863	23.5818	0.1026	0.2802	-0.1693
09/02/2019 – 23/03/2019 01/11/2019 – 25/11/2019					
<i>i</i>	-6.5737	51.4444	0.1048	0.2471	-0.0474

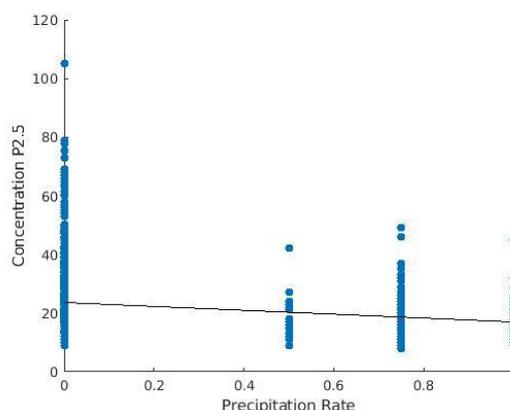


Рисунок 18 – Зависимость концентраций *PM2.5* от показателя осадков *PR*:  
 $PM2.5(i) = -6.6122 * PR(i-2) + 23.6547$  для периода 24/03/2019 – 31/10/2019

**Выводы.** Из таблиц 1–5 видно, что существует слабая и умеренная корреляция (как положительная, так и отрицательная) между концентрациями *PM2.5* и метеорологическими параметрами, измеренными в текущий и прошлые сроки, при этом в летний период корреляции менее выраженные. Наилучшие взаимосвязи для летнего периода 24/03/2019 – 31/10/2019 обнаружены между концентрациями *PM2.5* и измерениями температуры воздуха *T* в предшествующий срок измерений *i-1* ( $R = 0.1768$ ), температуры точки росы *Td* в срок измерений *i-2* ( $R = -0.1857$ ), интенсивностью осадков *PR* в срок измерений *i-2* ( $R = -0.1899$ ), влажностью *RH* в срок измерений *i-1* ( $R = -0.2493$ ), скоростью ветра в срок измерений *i-5* ( $R = -0.1280$ ). Корреляция между концентрациями *PM2.5* и давлением незначительная:  $R = -0.0795$ . Для зимних периодов времени 09/02/2019 – 23/03/2019 и 01/11/2019 – 25/11/2019 характерна большая инерционность процессов и более выраженные корреляции: наилучшие взаимосвязи обнаружены между концентрациями *PM2.5* и измерениями температуры точки росы *Td* в срок измерений *i-5* ( $R = -0.2492$ ), скоростью ветра в срок измерений *i-6* ( $R = -0.2453$ ), и давлением в срок измерения *i-2* ( $R = 0.2270$ ). Корреляция между концентрациями *PM2.5* и измерениями температуры воздуха *T* в срок измерений *i* – отрицательная ( $R = -0.139$ ), влажностью *RH* в срок измерения *i* – положительная и малозначительная ( $R = 0.1351$ ), интенсивностью осадков *PR* в срок измерений *i* – незначительная ( $R = -0.0474$ ).

Полученную информацию можно использовать при построении мульти-регрессионных и нейросетевых моделей прогноза концентраций PM<sub>2.5</sub> и индекса качества воздуха AQI, учитывающих метеорологические факторы.

### *Литература*

1. Gamze Özel Kadilar, Cem Kadilar. Air pollution analysis for Ankara by air pollution index highly correlated with meteorological variables // AIP Conference Proceedings 1991, 020014, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5047887>.
2. Ebru Kavak Akpinar<sup>1</sup>, Sinan Akpinar, Hakan Fehmi Öztop. Statistical analysis of meteorological factors and air pollution at winter months in Elazig, Turkey // Journal of Urban and Environmental Engineering, v.3, n.1, p.7–16. 2009.
3. Deniz Genc, Canan Yesilyurt, Gurdal Tuncel. Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere // Environ Monit Assess, 166:11–27, 2010. DOI 10.1007/s10661-009-0981-y
4. Turahoglu F.S., Nuhoglu A. & Bayraktar H. Impact of some meteorological parameters on SO<sub>2</sub> and TSP concentration in Erzurum, Turkey, Chemosphere 59, 1633–1642. 2005.
5. Ezzatian V. The study of the impacts of meteorological parameters on the air quality index in the Esfahan Cite // The 10<sup>th</sup> Int. Meetings on Statistical Climatology, August 20 to 24 2007, Beijing, China.
6. Dey S., Gupta S., Chakraborty A., Sibanda P. Influences of boundary layer phenomena and meteorology on ambient air quality status of an urban area in eastern India // Atmosfera, vol.31,no.1, 2018. <http://dx.doi.org/10.20937/atm.2018.31.01.05>.
7. Верзунов С.Н., Лыченко Н.М. Анализ и ARIMA-модели динамики изменения концентрации PM<sub>2.5</sub> в атмосферном воздухе г. Бишкек // Проблемы автоматизации и управления. 2019.– № 1 (36). – С. 21–30.
8. Современное прогнозирование. [Электронный ресурс]. URL: <https://forecasting.svetunkov.ru/etextbook/> (дата обращения: 30.09.2019).
9. AirNow Department of State // [https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global\\_summary#U.S.\\_Department\\_of\\_State\\_Bishkek](https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.global_summary#U.S._Department_of_State_Bishkek), (дата обращения: 30.11.2019).
10. Сайт «Погода и Климат» <http://www.pogodaiklimat.ru>, (дата обращения: 30.11.2019).