

УДК 551.553+504.3.054(574.51)

**О ТЕНДЕНЦИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА
АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ВЛИЯНИИ НА
ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ**

А. В. Белый

Рассматривается ветровой режим, как один из существенных факторов, способствующих самоочищению атмосферы. Проанализированы тенденции изменения скорости и направления ветра по станциям Алматинской области. Сделаны выводы о влиянии изменений ветрового режима на уровень загрязнения воздуха.

Проблема загрязнения атмосферы в настоящее время является одной из актуальных экологических проблем, стоящих перед многими странами мира. Она возникает как результат возрастания вредных выбросов, поступающих в воздушную среду от антропогенных источников. Между тем, атмосфера является одной из основных систем природной среды, а ее чистота - необходимое условие сохранения здоровья людей.

Как известно, уровень загрязнения воздуха определяется не только одними лишь выбросами. Существенное влияние на перенос вредных веществ в атмосфере оказывают метеорологические условия [3,12]. Поэтому, проблема загрязнения воздуха сводится не только к контролю за различными выбросами, но и правильному учету метеорологических факторов, среди которых важное место принадлежит ветровому режиму, влияющему на накопление и распространение примесей в атмосфере [7,8]. Кроме этого, ветер является одним из существенных факторов, способствующих очищению воздушного бассейна.

В настоящее время г. Алматы входит в первую тройку городов Республики по уровню загрязнения атмосферы, который как показано в [2,4,5] обусловлен в большей части господствующими здесь практически весь год слабыми ветрами в пределах 1-2 м/с, а также наблюдающимися продолжительными инверсиями температуры воздуха, что в сочетании со штилями приводит к застоям воздуха.

Обзор трудов по этой проблеме показывает, что уже достаточно много внимания было уделено изучению зависимости загрязнения атмосферы города от метеоусловий и в частности от ветрового режима. Однако, практически все они сводятся либо к исследованию пространственной [5,6,10], либо временной [1,9] структуры загрязнения, обуславливаемых влиянием ветрового фактора. В то же время сравнительно мало внимания уделено проблеме изменения ветрового режима и влиянию этого процесса на загрязнение воздушного бассейна. Очевидно, что застройка города и прилегающих к нему территорий привела к изменениям некоторых характеристик ветра и прежде всего его скорости и направления в приземном слое. Кроме этого, загрязнение воздуха выходит за пределы городской черты, поэтому в целях объективной оценки возникает необходимость в изучении данной проблемы на территории области, дальнейшее освоение площадей которой требует учета метеофакторов и прогнозирования возможного загрязнения атмосферы в том числе и в еще мало освоенной северной ее части. Вышеизложенные моменты демонстрируют обоснованность выбора региона исследований и определяют значимость их на рассматриваемой территории.

Алматинская область расположена в зоне пониженных скоростей ветра, что обусловлено действием орографических факторов. Скорости наблюдаемых здесь ветров уменьшаются при движении с севера от оз. Балхаш на юг области к северным отрогам Тянь-Шаня с 2,2 до 1,0 - 1,2 м/с. Таким образом, южная часть области, где находится практически весь промышленно - сельскохозяйственный потенциал характеризуется наиболее низкими средними скоростями ветра, что объясняется расположением ее у

северной подошвы широко простирающегося хребта Заилийский Алатау.

Другой характеристикой ветра, оказывающей значительное воздействие на загрязнение атмосферы, является его направление. Зоны высоких концентраций примесей создаются в подветренных районах, направление ветра существенным образом влияет на перемещение загрязненных масс воздуха из одних районов в другие. В равнинной части Алматинской области фиксируется в основном ветер северо - восточных, восточных и северных направлений. Отличительной особенностью южных районов области является высокая их защищенность горами, где направление ветра существенно меняется. Здесь преобладают ветры южных румбов. Кроме этого, в данной части области хорошо выражены горно - долинные ветры, которые имеют определенное значение для очищения воздушного бассейна.

Автором работы предпринята попытка проанализировать изменения средней годовой скорости ветра за многолетний период времени на рассматриваемой территории. Для этого по рядам средних годовых скоростей ветра на метеостанциях Аул N 4, Алматы, агро, Мынжилки, Усть - Горельник, Есик, Баканас, Ассы, Большое Алматинское Озеро были построены линейные тренды за период с 1966 по 1992 гг. Тренд представляет собой неслучайную медленно меняющуюся составляющую временного ряда. Для выявления тренда применялись параметрические методы, а прямая, выражающая этот тренд, была подобрана с помощью метода наименьших квадратов и описана линейным уравнением. Установив форму тренда, т. е. выбрав тип линии и описывающее ее уравнение были определены его параметры. Для линейного тренда главным параметром является среднегодовой прирост [11], т. е. величина изменения рассматриваемой величины за год, в данном случае скорости ветра. Расчет трендов по сети станций позволяет проследить тенденции в изменении скорости наблюдаемых ветров по территории Алматинской области и сделать определенные выводы о степени возможного загрязнения атмосферы, обусловленного действием

ветрового фактора. В табл. 1 представлены некоторые характеристики рассчитанных трендов.

Таблица 1

Характеристики трендов в рядах средних годовых скоростей ветра за период с 1966 по 1992 гг. по данным метеостанций Алматинской области

Станция	Высота, м	Средняя скорость ветра за рассматриваемый период, м/с	Характеристика тренда		Критерий Стьюдента (t)
			Средне-годовой прирост, м/с	Средний прирост за весь период, м/с	
Алматы, агро	1317	1,41	- 0,04	- 1,08	2,8
Усть - Горельник	1943	1,37	- 0,03	- 0,81	6,2
Мынжилки	3017	1,50	- 0,01	- 0,27	7,2
Баканас	396	2,02	- 0,03	- 0,81	4,0
Есик	1098	1,34	- 0,03	- 0,81	5,5
Аул N 4	362	2,96	- 0,03	- 0,81	5,0
Ассы	2216	2,17	+ 0,01	+ 0,16	0,5
Большое Алматинское Озеро	2516	1,62	+ 0,01	+ 0,14	1,4

Как следует из данных таблицы, в целом по области наблюдаются отрицательные тенденции в изменении средних годовых скоростей наблюдаемых здесь ветров. Лишь по станциям Ассы и Большое Алматинское Озеро, имеющих особое месторасположение, наблюдается рост средней годовой скорости ветра. Однако, он незначителен и среднегодовой прирост составляет всего около 0,01 м/с. Наибольшее уменьшение скорости ветра характерно для метеостанции Алматы, агро - 0,04 м/с в год.

Оценка статистической достоверности среднегодовых изменений скорости ветра производилась с

помощью критерия Стьюдента (t), численно равного отношению величины среднегодового прироста к его статистической ошибке. Расчитанный критерий сравнивался с критическим значением критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу отвергают на принятом автором 5 %-ном уровне значимости с числом степеней свободы $n - 1$, если $t \geq t_{st}$.

Анализ результатов, представленных в табл.1, показал, что на всех рассмотренных станциях за исключением Ассы и Большое Алматинское Озеро произошло статистически значимое уменьшение скорости ветра. Возрастание же последней на вышеназванных двух станциях, как показывают данные, не является статистически достоверным и возникло за счет случайных факторов.

Таким образом, уменьшение средней годовой скорости ветра по данным рассмотренных метеостанций может очень неблагоприятно отразиться на способности атмосферы рассеивать и удалять накапливающиеся в ней примеси. Причем, это относится как к освоенным районам юга области, так и к северным, еще недостаточно экономически развитым, где также выявлена тенденция уменьшения скорости наблюдаемого ветра.

Для оценки временного ряда по станции Алматы, ОГМС был применен метод экспоненциального сглаживания, смысл которого заключается в исследовании направленности изменения рассматриваемой величины, при котором наибольшие веса приписываются последним наблюдениям. Математической основой метода является локальная аппроксимация ряда полиномом, коэффициенты которого находятся по методу наименьших квадратов с экспоненциально убывающими весами. Наибольший вес приписывается последнему наблюдению, а скорость убывания весов определяется параметром сглаживания, который выбирается путем минимизации ошибки аппроксимации на один шаг вперед, оцененный по последней трети ряда и подбирается автоматически программой ЭВМ, используемой для статистических расчетов в данном исследовании.

Применение этого метода позволило выявить тенденции изменения значений этого ряда за раз-

личные периоды времени. Учитывая длиннорядность станции Алматы, ОГМС оценка производилась за период с 1916 по 1992 гг. На рис. 1 приведены: многолетний ход средней годовой скорости ветра, экспоненциальная кривая, линейные тренды за весь срок и за различные периоды наблюдений.

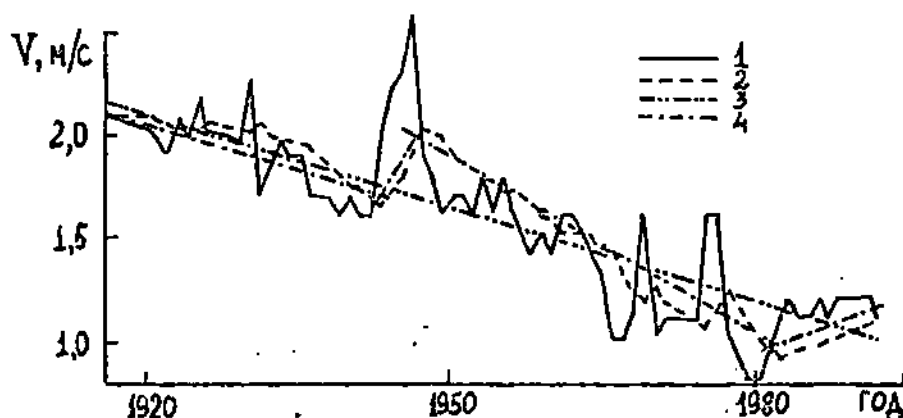


Рис.1. Многолетние средние годовые скорости ветра в м/с (1), их экспоненциально сглаженный ход (2), линейные тренды за весь срок (3) и за различные периоды (4) наблюдений по данным станции Алматы, ОГМС

Анализ графика показывает, что в целом на станции характерны ветры с малыми скоростями, в пределах 0,8 - 2,6 м/с. Наибольшие значения соответствуют периоду времени с 1942 по 1947 гг. Кроме этого, на графике видно, что для первой половины наблюдений (1916 - 1955 гг.) характерна частая повторяемость ветра со скоростью около 1,7 м/с, а средняя скорость за этот период времени составляет 1,8 м/с. После 1955 г. характерно снижение скорости наблюдаемого ветра до 1,6 - 1,5 м/с, особенно заметно ее снижение после 1966 г., когда преобладающая скорость составляла 1,1 м/с.

Наличие на графике экспоненциальной кривой и, построенных графическим способом с ее учетом, линейных трендов, позволяет сделать вывод о тен-

денциях рассматриваемой величины за различное время. Так, периоды с 1916 по 1942 гг. и с 1948 по 1982 гг. характеризуются трендами с отрицательными знаками, т. е. в эти периоды происходило уменьшение скорости ветра. В периоды времени с 1942 по 1947 гг. и с 1983 по 1992 гг. наблюдаются обратные явления - представленные тренды в рядах средних годовых значений скорости ветра имеют положительный знак. Общая же тенденция, выявленная с помощью линейного тренда, характеризуется уменьшением рассматриваемой величины за весь период наблюдений на 0,02 м/с в год.

Для анализа тенденций изменения направления ветра были использованы 27 - летние ряды наблюдений (1966 - 1992 гг.) за повторяемостью различных направлений ветра на 8 станциях Алматинской области. Весь срок наблюдений был разделен на два периода - условно - естественный (1966-1979 гг.) и нарушенный (1980 - 1992 гг.) по данным которых, были построены розы ветров, осредненных за эти периоды. На рис. 2, 3 представлены такие розы ветров по станциям Алматы, ОГМС, Большое Алматинское Озеро, Аул N 4, Есик. Построенные вышеуказанным способом розы ветров показывают возрастание в нарушенный период по сравнению с условно - естественным повторимости ветров южных направлений на станциях Нарынкол, Усть - Горельник, Мынжилки, при этом на этих станциях уменьшается повторяемость ветров западных и восточных румбов. На станциях Алматы, ОГМС, Алматы, агро возрастают ветры восточных и юго - восточных направлений при некотором ослаблении повторимости ветров западных и южных румбов. Увеличение повторимости ветров западной составляющей прослеживается по станциям Есик и Большое Алматинское Озеро при одновременном снижении юго - восточных и северо - западных на первой, а также южных, юго - западных и северо - западных - на второй. На метеостанции Аул N 4, расположенной на равнинной территории, прослеживается тенденция увеличения повторимости северных, южных, юго - западных и северо - восточных ветров и уменьшение восточных, западных и юго - восточных.

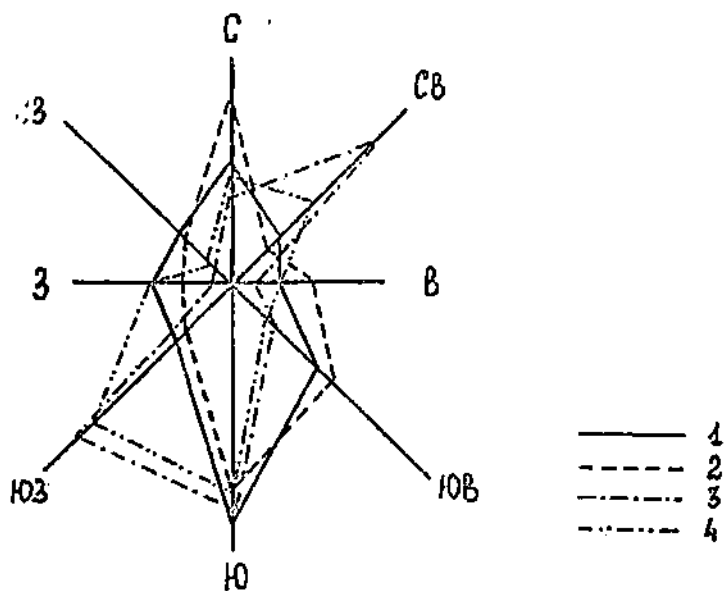


Рис.2. Розы ветров в условно - естественный (1,3), нарушенный (2,4) периоды по данным станций Алматы, ОГМС (1,2) и Большое Алматинское Озеро (3,4)

По вышеприведенным данным об изменении направления ветра по отдельным станциям довольно сложно сделать определенные выводы о его влиянии на загрязнение атмосферы области. По мнению автора, направление ветра играет заметную роль в загрязнении атмосферы в южной предгорной части области, где преобладание ветра северных и южных направлений (перпендикулярно горным хребтам) будет способствовать переносу загрязненных масс воздуха из одних районов в другие несколько раз и поэтому существенно не повлияет на очищение атмосферы. В то же время, ветер вдоль горных хребтов (западное и восточное направление) может значительно очищать воздушный бассейн. Исходя из этого, на основе полученных данных была предпринята попытка выяснить изменения направления ветра по двум составляющим: север - юг и запад - восток.

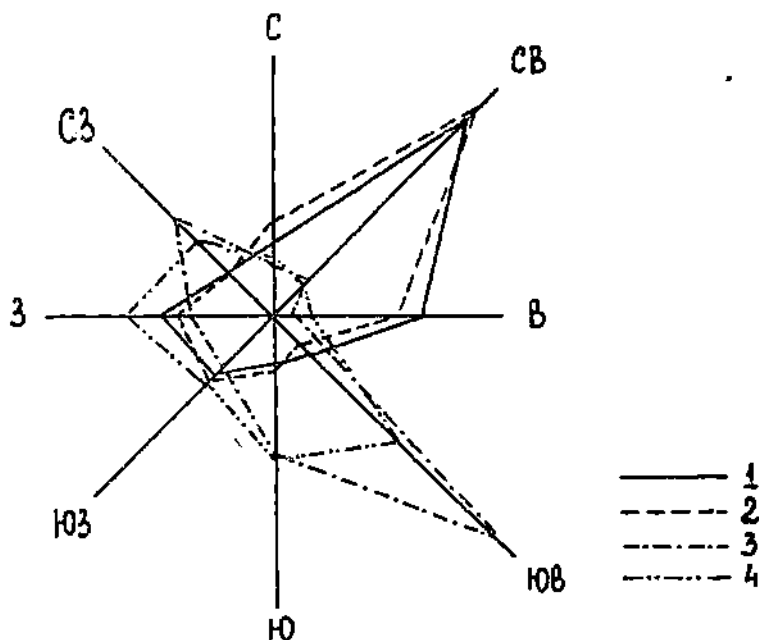


Рис.3. Розы ветров в условно - естественный (1,3), нарушенный (2,4) периоды по данным станций Аул N 4 (1,2) и Есик (3,4)

Для этого были рассчитаны средние значения повторяемости ветра северного, южного, северо - восточного, северо - западного, юго - западного и юго - восточного направлений для первой составляющей и западного, восточного, северо - восточного, северо - западного, юго - западного и юго - восточного направлений для второй составляющей отдельно за условно - естественный и нарушенный периоды. Кроме этого, была проанализирована повторяемость штилей за условно - естественный и нарушенный периоды. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Анализ данных таблицы показывает преобладание в предгорной части области ветра с составляющей север - юг, как в условно - естественный, так и в нарушенный период. Причем, на всех станциях кроме Есик, прослеживается рост повторяемости ветра северных и южных румбов, что, очевидно не

совсем благоприятно отразится в будущем на очищении атмосферы. Наибольшие значения роста этого ветра характерны для высотных метеостанций - Большое Алматинское Озеро и Усть - Горельник - 2,5 % и 1,6 % соответственно. На станции Есик наблюдается снижение повторяемости ветра сразу двух направлений, что может объясняться резким увеличением повторяемости штилей - с 22,8 % в условно - естественный период до 44,4 % - в нарушенный.

Таблица 2

Повторяемости направлений ветра по двум составляющим: север - юг (P_x , %) и запад - восток (P_y , %) и штилей (Π , %) за условно - естественный (1) и нарушенный (2) периоды по данным станций Алматинской области

Станция	P_x , %		P_y , %		Π , %	
	1	2	1	2	1	2
Нарынкол	10,2	10,6	13,6	16,6	60,7	42,0
Аул N 4	11,6	12,0	14,8	13,9	12,5	8,2
Есик	15,7	12,8	14,1	12,5	22,8	44,4
Усть - Горельник	14,9	16,5	10,9	8,3	17,7	44,8
Большое Алматинское Озеро	16,2	18,7	10,2	10,2	18,5	12,2
Мынжилки	15,6	16,2	3,3	3,5	39,7	38,2
Алматы, агро	14,2	13,4	9,9	11,5	26,8	43,1
Алматы, ОГМС	14,0	14,6	9,3	9,8	25,6	16,0

На станциях Нарынкол, Мынжилки, Алматы, агро и Алматы, ОГМС происходит увеличение повторяемости ветра как вдоль хребта, так и поперек, при этом на этих станциях за исключением Алматы, агро уменьшается повторяемость штилевых явлений, что является положительной чертой в плане ветрового очищения воздушного бассейна. На метеостанции Аул N 4, расположенной в равнинной части области,

преобладает ветер с субширотной составляющей (запад - восток), однако, здесь прослеживается тенденция на ее снижение в нарушенный период по сравнению с условно - естественным и рост повторяемости ветра южных и северных румбов, причем темпы снижения первых значительно опережают темпы роста вторых, при этом происходит снижение повторяемости штилевых явлений с 12,5 % в условно - естественный период до 8,2 % в нарушенный. В связи с положением станции на равнине, на расстоянии от горных хребтов, направление ветра здесь играет меньшую роль, чем в предгорной части области. Кроме этого, уменьшение повторяемости штилей здесь позволяет сделать вывод о положительных тенденциях изменения ветрового режима в плане влияния его на загрязнение воздушного бассейна.

Достоверность полученных результатов по ветру во многом будет определять правильность выводов о возможном уровне загрязнения атмосферы. Следует заметить, что различия в характеристиках ветра за условно - естественный и нарушенный периоды могут возникать и под действием случайных факторов, которые необходимо учитывать при анализе данных. Поэтому, еще одной задачей является определение достоверности разности двух независимых выборочных совокупностей, для чего был определен критерий достоверности различия между средними величинами повторяемости ветра по двум составляющим за условно - естественный и нарушенный периоды. Очевидно, что небольшие значения разницы в повторяемости ветра за рассмотренные периоды, следует считать случайными, на тех же станциях, где различия существенно отличаются от нуля задача состоит в оценке их достоверности. Исходя из этого, оценка статистической достоверности полученных данных изменения направления ветра была проведена выборочно - для станций Аул N 4 и Алматы, ОГМС, что объясняется разными физико - географическими условиями их местонахождения и неодинаковыми тенденциями в изменении направления ветра.

Расчитанные величины критерия достоверности (t_{ϕ}) сравнивались с табличными значениями

t - критерия Стьюдента (t_{st}). Нулевая гипотеза отвергается, если $t_{\phi} \geq t_{st}$ для принятого автором 5 %-ного уровня значимости и числа степеней свободы $(n_1 + n_2 - 2) / 2$.

Так, критерий достоверности между выборочными средними повторяемости ветра с составляющей север - юг за рассмотренные интервалы времени по станции Аул N 4 составляет 2,5, в то время как критическое значение t - критерия Стьюдента на принятом уровне значимости равно 2,18. Аналогичные данные были получены при расчете t_{ϕ} и для установленной разницы изменения повторяемости ветра с составляющей запад - восток.

Данные расчетов по метеостанции Алматы, ОГМС заслуживают более пристального внимания. Здесь при анализе рассчитанного критерия t_{ϕ} для оценки изменения повторяемости ветра с составляющей запад - восток было выяснено, что $t_{\phi} < t_{st}$ на принятом 5 %-ном уровне. Исходя из этого, можно сделать вывод, что изменения повторяемости ветра вдоль хребта в нарушенный период по этой станции не являются статистически достоверными, а значит образовались под действием случайных факторов. Таким образом, можно быть уверенным с вероятностью 95 %, что различия в повторяемости направлений ветра по двум составляющим на станции Аул N 4, а также разница в повторяемости ветра, направленного перпендикулярно горным хребтам на станции Алматы, ОГМС за условно - естественный и нарушенный периоды являются статистически значимыми и складывались под влиянием направленных процессов.

Особый интерес представляет достоверность различий в повторяемости штилей в рассмотренные периоды, оказывающих значительное влияние на самоочищение атмосферы. На рис. 4 представлена диаграмма критериев Стьюдента разностей повторяемости штилей по станциям Алматинской области. Горизонтальная линия показывает критическое значение критерия на 5 %-ном уровне значимости. Как видно на рисунке, статистически значимые изменения повторяемости штилей произошли на всех станциях, кроме Мынжилки. На последней значение кри-

терия достоверности меньше соответствующего ему критического значения критерия Стьюдента, а значит выявленные изменения на этой станции носят случайный характер т. к. статистически недостоверны.

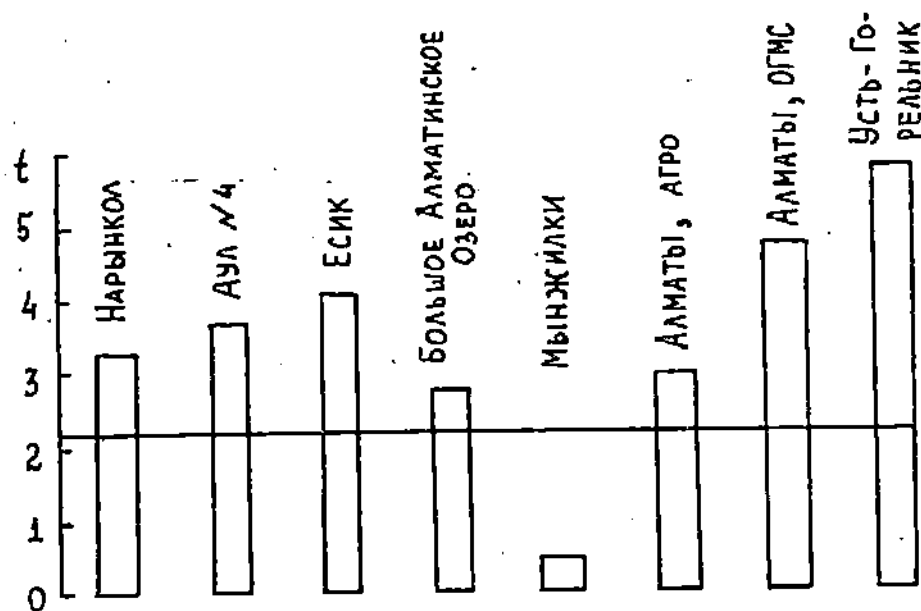


Рис. 4. Диаграмма критериев Стьюдента (t) разностей повторяемости штилей в условно - естественный и нарушенный периоды по станциям Алматинской области

Таким образом, рассмотренные данные о направлении ветра показывают наличие благоприятной тенденции во влиянии ветрового режима на очищение атмосферы преимущественно в равнинной и предгорной частях области. Здесь возрастает повторяемость ветра, направленного вдоль хребтов, а также уменьшается количество наблюдаемых штилей. В то же время в горных районах в целом высоки темпы роста повторяемости ветра северных и южных румбов при почти постоянных или слабо меняющихся значениях субширотной составляющей.

Возможно, это может быть объяснено с точки зрения разницы физико - географических условий

метеостанций. В горных районах направление ветра заметно изменяется под влиянием местных условий - форма (тип) рельефа, экспозиция, крутизна склонов и др. Исходя из этого, тенденции в изменении направления ветра могут резко различаться даже на близлежащих станциях. Учитывая, что большая часть межгорных долин в Заилийском Алатау открыта на север, преобладающее направление ветра здесь, как правило, северное или южное и устойчивость его весьма велика.

Полученные результаты об изменении скорости ветра, повторяемости его направлений и штилей дают возможность прогнозировать характер влияния ветрового режима на уровень загрязнения воздушно-го бассейна области. Уменьшение средней годовой скорости ветра в целом по области приведет к созданию условий слабого перемешивания слоев воздуха, что отразится на накоплении примесей в атмосфере и возрастанию уровня загрязнения воздуха, как в южных, так и северных ее частях. С другой стороны, увеличение повторяемости ветра западных и восточных румбов в равнинной и на ряде станций в предгорной частях области, а также снижение здесь повторяемости штилей будет способствовать лучшему переносу и рассеиванию примесей, поступающих в атмосферу.

Полученные в работе данные о тенденциях изменения скорости и направления ветра в Алматинской области позволят в дальнейшем глубже изучить одну из острейших экологических проблем - загрязнение воздушного бассейна, дать прогноз развития ситуации на перспективу. Кроме того, результаты работы могут быть применены при изучении такого явления, как застой воздуха, весьма характерного для предгорной части Алматинской области и оказывающее существенное влияние на загрязнение атмосферы, что и явится предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдабергенов С.С., Дегтярев В.И. О динамике ночного переноса загрязнений воздушной массы

- в Алма - Ате // Тр. КазНИГМИ. - 1990. - Вып. 105. - С. 30 - 38.
2. Ахмеджанов Х.А., Гельмгольц Н.Ф. Особенности климатических условий г. Алма - Аты и их роль в загрязнении воздушного бассейна города // Тр. КазНИГМИ. - 1970. - Вып. 36. - С. 127 - 135.
 3. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 184 с.
 4. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 252 с.
 5. Гельмгольц Н.Ф., Нурумов С.Ж. О некоторых закономерностях ветрового самоочищения атмосферы в г. Алма - Ате // Тр. КазНИГМИ. - 1978. - Вып. 64.- С. 9 - 16.
 6. Каймирасов М.Г. О некоторых особенностях загрязнения воздушного бассейна г. Алма - Аты // Тр. КазНИГМИ. - 1984. - Вып. 82.- С. 47 - 51.
 7. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере / Э.Ю. Безуглая, Л.И. Елекова, Е.К. Завадская и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 328 с.
 8. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 375 с.
 9. Переверзева Т.Г. Временные изменения потенциала загрязнения атмосферы Алма - Аты // Тр. КазНИГМИ. - 1990. - Вып. 105. - С. 38 - 43.
 10. Тюрбаева С.И. О пространственном распределении вредных примесей в г. Алма - Ате // Тр. КазНИГМИ. - 1984. - Вып. 82. - С. 51- 55.
 11. Юзбашев М.М., Манелля А.И. Статистический анализ тенденций и колеблемости. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 207 с.
 12. Giles C.H. In air pollution and natural processes // Chem. Ind. - 1984. - N 19. - 77 p.

Алматинский Государственный
Университет им. Абая

АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЖЕЛ РЕЖІМІ
ӨЗГЕРІСТЕРІНІҢ ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫ ЖӘНЕ
ОНЫҢ АТМОСФЕРА АСТАЛУЫНА
ӘСЕРІ ТУРАЛЫ

А.В. БЕЛЫЙ

Атмосфераның өзін өзі тазартуына ықпал ететін бірден бір негізгі себебші-желдің режимі қарастырылады. Алматы облыстық стансалары бойынша желдің жылдамдық тенденциясы мен бағыты талданады. Жел режимінің өзгерісі ауаның астану деңгейіне әсер ететіндігі туралы тұжырым жасалған.