

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ SO_2 И NO_x В ВОЗДУШНОМ БАСЕЙНЕ ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Академик АН ВШ В.С. Чередниченко

Канд. техн. наук А.А. Тютяев

В.С. Недовесов

А.В. Чередниченко

По результатам учащенных экспериментальных измерений метеорологических параметров и концентрации вредных веществ в различных районах города Усть-Каменогорска построены типовые карты среднего поля ветра и нормированных концентраций SO_2 и NO_x у земли в зависимости от направления ветра на высоте 100 м для трех имеющих наибольшую повторяемость румбов.

По результатам высотных измерений оценена количественная связь между распределением температуры в слое земля - 100 м и концентрацией SO_2 и NO_x у земли. Оценено также влияние осадков на концентрации примесей.

Концентрация примесей вредных веществ (ВВ) в атмосфере города определяется не только объемами их выбросов предприятиями, но в значительной мере метеорологическими условиями и орографией местности. При этом орография тоже реализуется через метеоусловия, препятствуя, например, усилению ветра в соответствии с барическими градиентами, направляя воздушные потоки вдоль складок местности, способствуя образованию горно-долинной циркуляции и др. Поэтому при выполнении исследований по оценке вклада энергопредприятий АО "Алтайэнерго" Усть - Каменогорска в фоновый уровень загрязнения воздушного бассейна города [3] большое внимание уделялось учету особенностей распределения концентраций ВВ во времени и пространстве при разных уровнях загрузки предприятий в различные сезоны года. Проведено четыре эксперимента продолжительностью трое-четверо суток каждый, во время которых контролировались основные метеорологические параметры на шести постоянных и трех дополнительных постах отбора проб, а также на высотах 60 и 100 м на старой телевизионной вышке и на крыше десятиэтажного здания (35 м) в районе поста № 5. Карта - схема

города и его окрестностей с отмеченными точками наблюдений и отбора проб воздуха представлена на рис. 1.

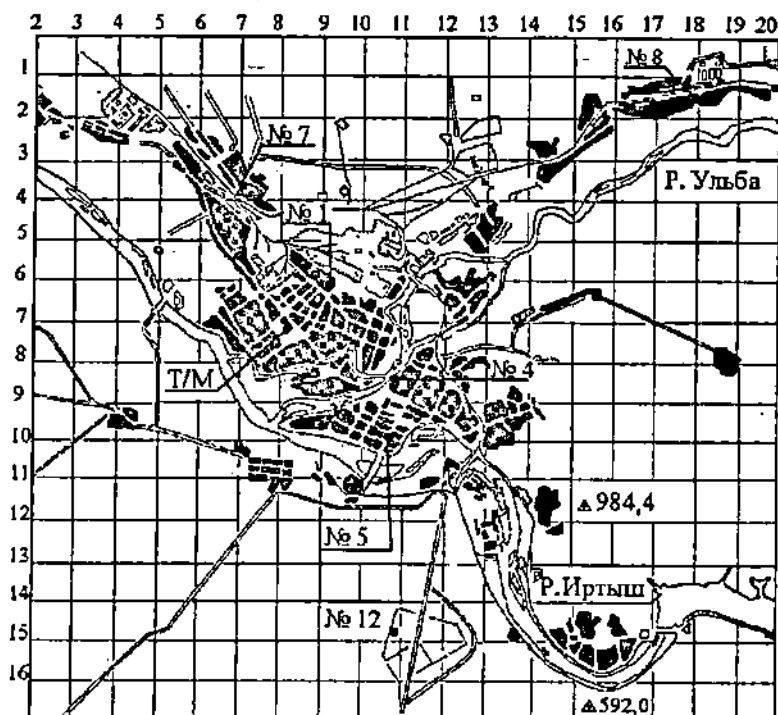


Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов отбора проб и производства метеорологических наблюдений на территории г. Усть-Каменогорска

Эксперименты примерно совпадали по времени с экстремумами энергетической нагрузки зимой и летом, а также с периодами сброса нагрузки весной и набора - осенью. В результате удалось собрать необходимую информацию о концентрациях ВВ, увязанную с режимом работы энергопредприятий [4-7].

В данной статье, однако, главное внимание уделено анализу распределения ВВ по территории, для чего излагаются результаты типизации такого распределения в зависимости от направления ветра на высоте 100 м, т.е. на уровне источника выбросов ВВ. Целесообразность такой типизации объясняется тем, что ветер на высоте 100 м, несмотря на сложную орографию, близок к градиентному и его можно прогнозировать на основе анализа крупномасштабной синоптической ситуации. Зная связь между этим ветром, его полем у земли и концентрацией ВВ, можно прогнозировать распределение последних. Здесь также кратко излагаются результаты исследования изменения концентраций

примесей SO_2 и NO_x в зависимости от термодинамической устойчивости нижнего слоя атмосферы и выпадения осадков.

Ветер у земли типизируется по направлению для каждого из трех имеющих наибольшую повторяемость румбов на высоте 100 м. Концентрации SO_2 и NO_x даются в отношении к их средней величине по городу. Такой подход обусловлен тем, что нормированные значения в отличие от абсолютных величин концентраций не зависят от объемов выбросов в единицу времени, фонового уровня и др.

Район Усть-Каменогорска расположен у впадение реки Ульбы в Иртыш и представляет собой долину, окруженную со всех сторон отрогами горных хребтов и относительно открытую только с запада. В 120 км к северо-востоку расположен горный хребет Холзун, высшая точка которого 2674 м (г. Линейный Белок). От Холзуна к юго-западу отходят три хребта: Ульбинский, Ивановский и Убинский, по высотам мало ему уступающие (1895, 2778 и 1967 м соответственно). Отроги Ивановского хребта наиболее близко подходят к городу с востока - всего на расстояние 3 - 4 км, высоты их достигают здесь более 800 м над уровнем моря. Сам Усть-Каменогорск находится на высоте около 270 м над уровнем моря.

В северном направлении в 35 км от города располагается Убинский хребет. К западу местность несколько понижается и представляет собою обширную сильно всхолмленную равнину. К югу и юго-западу, постепенно повышаясь, местность переходит в отроги Калбинского хребта, ориентированного почти широтно. Восточнее и юго-восточнее города отроги Калбинского и Ивановского хребтов почти полностью перекрывают долину Иртыша, и река течет по узкому ущелью.

Своеобразие местоположения района сказывается на условиях формирования климата, протекании погодообразующих процессов и, соответственно, условиях накопления и рассеяния примесей в атмосфере. Факторами, способствующими диссипации примесей, являются: перенос (т.е. ветер), турбулентность, обуславливаемая термодинамическими характеристиками нижнего слоя атмосферы, осадки.

Поле ветра. Ввиду особенностей орографии региона средняя годовая скорость ветра в Усть-Каменогорске составляет только 2,7 м/с, наибольшая средняя месячная скорость ветра в мае (3,5 м/с), а наименьшая - в августе (2,1 м/с). Наблюдается высокая повторяемость штилей. Таким образом, один из основных физических факторов, способствующих переносу и диссипации примесей, имеет для Усть-Каменогорска довольно низкие динамические характеристики [12]. В то же время при прохождении атмосферных фронтов и грозах здесь наблюдаются большие скорости ветра, хотя и непродолжительные.

Таблица 1
 Распределение характеристик ветра у земли в зависимости от направления ветра на высоте 100 м

Точки наблюдений	Направление ветра на высоте 100 м											
	Юго-восточное				западное				северо-западное			
	α	ν	штгиль, %	α	ν	штгиль, %	α	ν	штгиль, %	α	ν	штгиль, %
пост № 12	205	1,1	37	290	0,7	53	265	6,5	00			
10 этаж	130	3,8	00	260	0,8	42	265	3,0	00			
пост № 5	210	1,0	12	85	1,6	40	265	4,0	00			
пост № 8	135	2,6	25	260	0,7	60	270	3,0	00			
пост № 4	122	1,8	37	280	0,5	73	190	2,0	50			
пост № 1	257	0,8	50	125	1,0	20	155	1,0	00			
пост № 7	160	0,1	88	260	0,2	80	315	2,5	00			
телемачта, низ	-	-	-	260	0,5	60	280	4,0	00			

Примечание. α - среднее направление (градус); ν - средняя скорость ветра у земли (м/с)

Преобладающими направлениями ветра на высоте 60 - 100 м, для Усть-Каменогорска являются юго-восточное, западное и северо-западное. Вначале предполагалось, что горно-долинная циркуляция вдоль Ульбы и Иртыша определяет основное перемещение воздуха в районе города при малоградиентном барическом поле. При активизации синоптических процессов градиентный ветер складывается с горно-долинной циркуляцией, подавляя или усиливая ее. В результате, поле ветра у поверхности земли сложное, и представляло интерес установить его особенности. Для этого строились карты распределения средних скоростей ветра и нормированных величин концентраций SO_2 и NO_x по данным, накопленным во время экспериментов, в зависимости от направления ветра на высоте 100 м (юго-восточного, западного и северо-западного). Осреднение за довольно длительный промежуток времени позволило избавиться от второстепенных деталей, что важно на начальном этапе анализа. Результаты расчетов характеристик ветра у земли для указанных направлений приведены в табл. 1, а нормированные концентрации SO_2 и NO_x - в табл.2.

Таблица 2

Распределение относительных (нормированных) концентраций SO_2 и NO_x у поверхности земли в зависимости от направления ветра на высоте 100 м

Точки наблюдений	Направление ветра на высоте 100 м					
	юго-восточное		западное		северо-западное	
	SO_2	NO_x	SO_2	NO_x	SO_2	NO_x
пост № 12	0,99	0,72	1,23	1,48	0,88	0,38
пост № 5	0,96	0,74	0,87	1,71	0,85	1,16
пост № 8	1,01	1,17	0,86	0,53	0,73	1,00
пост № 4	1,04	1,34	0,83	0,59	0,92	2,40
пост № 1	0,97	0,93	0,95	0,67	1,66	0,62
пост № 7	0,99	0,93	1,47	0,80	0,81	0,69
телемачта, низ	-	-	0,72	1,22	1,16	0,77
Средние кон- центрации по городу, ПДК	3,57	0,84	2,50	1,06	2,60	2,60
Размах варьирования	0,08	0,62	0,75	1,18	0,93	2,02

На рис. 2. представлена карта - схема распределения нормированных значений SO_2 и NO_x для юго-восточного ветра на высоте 100 м по данным летнего эксперимента. Кроме изолиний SO_2 и NO_x на карту нанесены изотахи средней скорости ветра у земли, т.е. на высоте 4-6 м, в точках отбора проб. Примечательной особенностью этого периода было то, что из энергетических предприятий "Алтайэнерго" работала только Усть-Каменогорская ТЭЦ, сжигающая менее 300 т угля в сутки. Скорость ветра в слое 60 - 100 м составляла 4-6 м/с. Все измерения и отбор проб выполнялись в соответствии с руководящими документами [4-9].

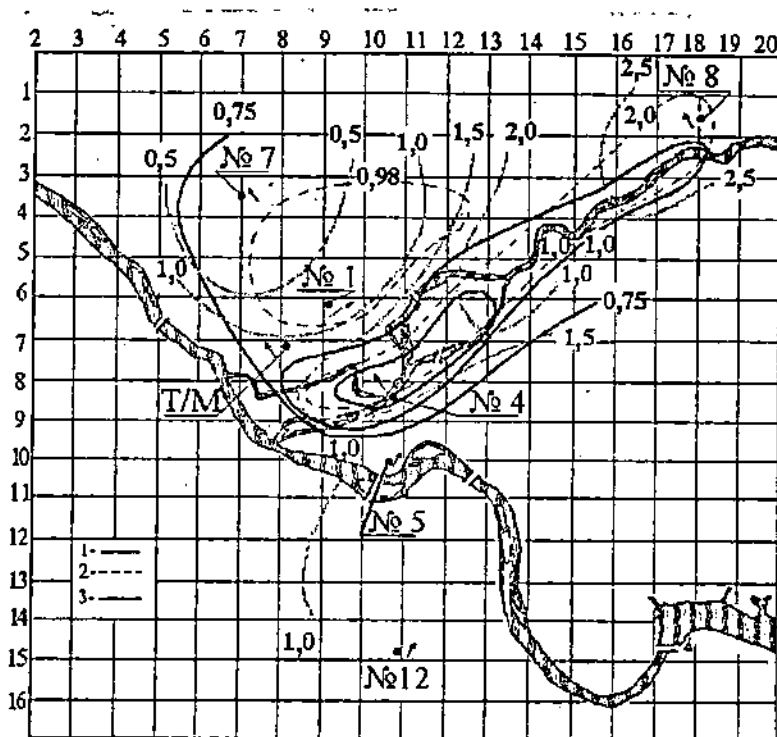


Рис. 2. Распределение скорости ветра у земли (1) и нормированных значений SO_2 (2) и NO_x (3) для юго-восточного ветра на высоте 100 м.

Можно видеть, что горно-долинная циркуляция играет заметную роль в атмосферной циркуляции района, особенно вдоль реки Ульбы. На выходе из гор средняя скорость ветра равнялась 2,6 м/с, а вниз по течению в связи с расширением долины быстро понижалась и в районе поста № 4 составила только 1,75 м/с. Летом горы остаются холоднее, чем равнина, не только ночью, но и днем. Поэтому большую часть суток ветер направлен вниз по течению.

Истинное направление ветра не совпадает, однако, с направлением реки, поскольку оно искажается склоновой циркуляцией, обусловленной близлежащими горами и постройками в районе измерений.

Циркуляция вдоль Иртыша оказалась относительно слабой, что обусловлено влиянием Усть-Каменогорского водохранилища, расположенного выше по течению, остающегося более теплым, чем окружающая местность в ночное время, когда горно-долинный ветер вниз по течению должен быть максимальным, а также почти полным перекрытием долины горами в районе плотины ГЭС.

Область минимальных скоростей ветра у земли имела место в западной части города (район Защиты), не вовлеченной в горно-долинную циркуляцию и прикрытую с севера и северо-запада горами. Только в один из сроков в течение эксперимента там наблюдался слабый ветер, а в остальные сроки - штиль. К востоку, у промплощадки, повторяемость штилей была в два раза ниже. В то же время, по наблюдениям за факелом из труб на промплощадке, ветер на высоте выбросов был слабым (2-4 м/с) и несколько неустойчивым по направлению в пределах 90-130°.

Распределение относительных концентраций ВВ в этот период хорошо согласуется с полем ветра. Известно, что на уровне трубы и выше примеси переносятся ветром, наблюдающимся на тех высотах, а затем, когда они опускаются в нижние слои, их дальнейшее перемещение и диссипация определяются скоростью ветра на этих высотах [1,2,10]. Ветры на высоте выбросов и у земли, действуя совместно, определяют распределение концентраций ВВ. При этом, естественно, на формировании поля концентраций сказываются вертикальная устойчивость атмосферы и наличие осадков.

Наибольшие относительные концентрации SO_2 и NO_x приходятся на район долины Ульбы (посты № 8 и № 4), т.е. все, что переносилось с составляющей ветра к руслу реки, концентрировалось вдоль нее [3]. Поскольку ветер у земли был слабым, диссипация ВВ происходила медленно. Последнее особенно характерно для района поста № 7. Несмотря на то, что в этом направлении вынос ВВ происходил с некоторыми перерывами, их концентрация, особенно SO_2 , была высокой, поскольку в течение почти всего времени обобщения здесь отмечался штиль. Поэтому ВВ, оседая, накапливались длительное время. Концентрация SO_2 здесь по величине близка к ее значению в районе максимума (пост № 4), а NO_x - в два раза ниже. Можно предположить, что последнее связано с меньшим количеством работающих транспортных средств в районе поста № 7, чем в районах постов № 4 и № 8. Самые низкие относительные концентрации NO_x имели место в районе постов № 12 и № 5, расположенных с наветренной стороны города.

Во время осеннего эксперимента преобладающим направлением ветра на высоте трубы тоже было юго-восточное и распределение поля скоростей ветра напоминало летнее с единственным отличием - повсеместно средние скорости были больше, чем летом. Заметно выше были скорости ветра вдоль Иртыша и Ульбы. В то же время в районе промплощадки и Защиты скорости ветра были слабыми с высокой повторяемостью штилей.

Соответственно, самый высокий уровень концентрации SO_2 имел место в районе поста № 7, а NO_x - в районе поста № 1. В других районах города концентрации обоих ингредиентов были или ниже (SO_2) или такими же, как и летом (NO_x), что обусловлено более высокими скоростями ветра у земли (см. табл. 1 и 2.).

Ввиду большого сходства распределения средних скоростей ветра у земли и нормированных величин SO_2 и NO_x летом и осенью карта за период осеннего эксперимента не представляется.

Во время зимнего эксперимента, по данным на телемачте на высоте 100 м, преобладающим был ветер устойчивого западного направления со скоростью около 2 м/с. Примерно такой же ветер имел место на посту № 10 (высота 35 м), но здесь в 40 % случаев наблюдались штили, а направление было менее устойчивым. Интересно, что ветер, измеренный на крыше здания Гидрометцентра, расположенного в районе поста № 5, т.е. вблизи Иртыша, имел большие скорости (3-7 м/с), однако повторяемость штилей тоже была около 40 %.

Распределение скорости ветра и относительных концентраций SO_2 и NO_x у земли зимой при западном ветре на высотах представлено на рис. 3. Можно видеть, что устойчивый западный ветер приводит к образованию области повышенных скоростей в центральной части долины, ориентированной к северо-востоку. К северо-западу и юго-востоку от нее скорости ветра понижаются. Низкие скорости ветра отмечаются и на посту № 12, поскольку этот район защищен от западных ветров холмами, расположенными рядом. Вдоль Иртыша вниз по течению формируется, однако, довольно интенсивный компенсирующий поток воздуха, фиксируемый на постах № 5 и № 15 (здание Гидромета). В районе поста № 1 ветер у земли имеет устойчивое юго-восточное направление и, несмотря на относительно слабый ветер на высоте трубы, у максимума SO_2 (пост № 7) концентрации NO_x были невысокими, они оставались низкими в районе промплощадки на посту № 1. Самые низкие относительные концентрации NO_x имели место вдоль Ульбы (посты № 4 и № 8). Это указывает так же на сложность проблемы установления источников выбросов NO_x , ответственных за формирование высоких концентраций ВВ у поверхности [1-11], которая в рамках данной статьи не рассматривается.

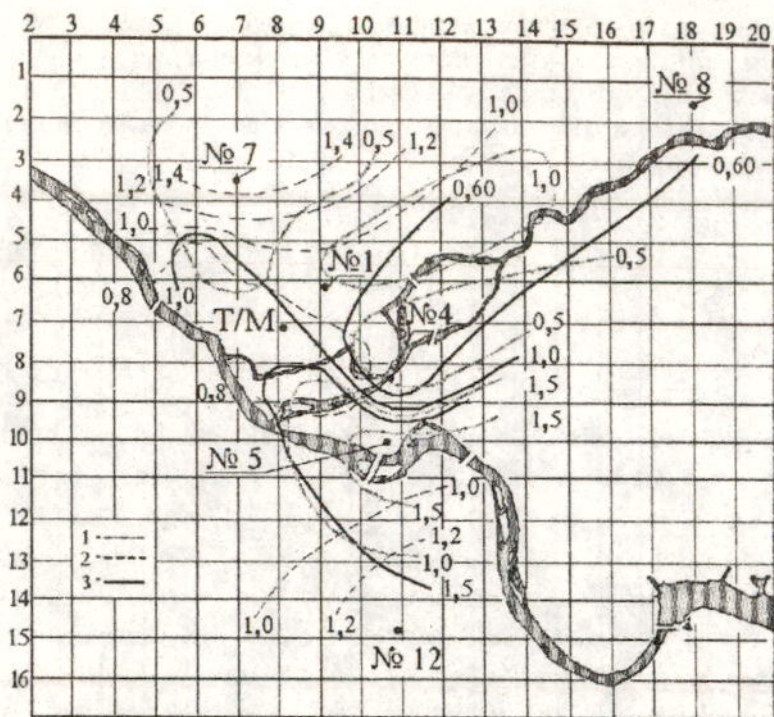


Рис. 3. Распределение скорости ветра у земли (1) и нормированных значений SO_2 (2) и NO_x (3) для западного направления ветра на высоте 100 м

Распределение средних скоростей ветра и нормированных концентраций SO_2 и NO_x у земли (см. рис.3), можно считать типичным для относительно устойчивого, но не сильного, 4-6 м/с, западного ветра на высоте 100 м. Северо-западные ветры связаны с активными синоптическими процессами, в частности с прохождением атмосферных фронтов с северо-запада. Естественно, что скорости ветра при этом выше средних, а само время существования этого направления непродолжительно. На рис. 4 представлено распределение средних скоростей ветра и относительных концентраций SO_2 и NO_x при нем. Можно видеть, что поле средних скоростей у земли довольно простое. Минимум скоростей располагается в северо-западной части долины, т.е. с подветренной стороны гор. Область малых скоростей вытянута к юго-востоку, захватывая и промплощадку. К востоку, югу и западу от этой области скорости ветра увеличиваются. В соответствии с теорией, воздушный поток за хребтом должен опускаться вниз, образуя роторные волны на границе резкого изменения скорости ветра по высоте [1,2]. Следствием этого является интенсивная крупномасштабная турбулентность, приводящая к разрыву струи

выбрасываемых газов и прижиманию ее к земле. В результате возможны локальные многократные увеличения концентрации ВВ. Поскольку у земли ветры слабые, то такие области повышенных концентраций ВВ существуют довольно долго, медленно мигрируя по территории.

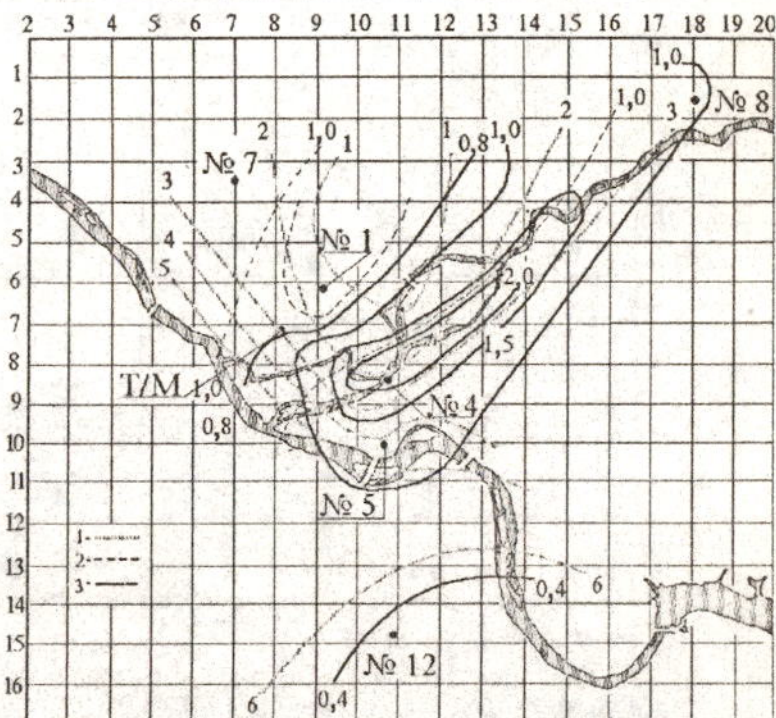


Рис. 4. Распределение скорости ветра у земли (1) и нормированных значений SO_2 (2) и NO_x (3) для северо-западного направления ветра на высоте 100 м

Максимум средней скорости ветра имел место в районе поста № 12, т.е. с наветренной стороны предгорий Калбинского хребта. Направление ветра у земли в разных частях города было разным (см. табл. 1.). Так, в районе постов № 12, № 5 и № 8 оно было западно-юго-западным, в районе поста № 1 - юго-восточным или наблюдался штиль, а в районе поста № 4 - юго-западным. Большая изменчивость направления ветра у земли указывает на интенсивное перемешивание воздуха по вертикали, а малые скорости у земли при скоростях 7-8 м/с на высоте 60 - 100 м - о больших вертикальных сдвигах скорости, являющихся благоприятной основой для крупномасштабной турбулентности, которая, как следует из уровня концентраций ВВ у земли, имела место.

Максимум NO_x в районе поста № 4 обусловлен именно крупномасштабным перемешиванием, усиленным выпадавшими иногда осадками. Максимум двуокиси серы располагался северо-западнее от максимума NO_x , в районе поста № 1. Распределение средних скоростей ветра и относительных концентраций SO_2 и NO_x , (см. рис. 4.) можно считать типичным для северо-западных ветров на высотах 60-100 м над поверхностью земли. Типичными являются и большие вертикальные сдвиги скорости ветра, и интенсивная крупномасштабная турбулентность.

Построенные типовые карты распределения у земли скорости ветра и нормированных концентраций SO_2 и NO_x для трех основных его направлений на высоте 100 м прошли проверку на материалах наблюдений Гидрометцентра за 1994 - 1995 гг. Была подтверждена хорошая согласованность типизируемых параметров с реально наблюдавшимися распределениями [3].

Распределение температуры с высотой. Скорость поступления или оседания примесей зависит от интенсивности мелкомасштабной турбулентности атмосферы, которая, в свою очередь, определяется вертикальным сдвигом ветра и термической неустойчивостью. В холодный период года эта характеристика косвенно учитывается через скорость ветра, а в теплый - требует дополнительного учета через параметры термической неустойчивости.

При слабом ветре интенсивность процессов накопления примесей, особенно в холодный период, определяется еще и объемом пространства, в котором это происходит, т.е. еще высотой и мощностью приподнятой инверсии, имеющей повторяемость около 90 % для этого региона в холодное время года [13].

Рассмотрим распределение температуры с высотой в слое земля - 100 м как показателя термической устойчивости во взаимосвязи с изменением концентраций SO_2 и NO_x . На рис. 5 представлен временной ход разности температур в слоях земля - 60 м и 60 - 100 м в районе телемачты, взятых в качестве меры устойчивости атмосферы. Чем разность больше, тем сильнее развита турбулентность, разрушающая факел, и тем выше уровень загрязнения у земли, что подтверждается теоретическими и многочисленными экспериментальными исследованиями ряда авторов [1,2 и др.]. Именно такую зависимость мы и видим. В сроки, когда разность температур достигает максимума (15 ч), содержание SO_2 в атмосфере наибольшее. Эта зависимость видна и в суточном ходе NO_x , но несколько слабее. Анализ суточных колебаний SO_2 и NO_x показал, что их величины могут изменяться в больших пределах: до 80 и 60 % величин средних приземных концентраций соответственно.

Осадки. В районе Усть-Каменогорска выпадает довольно большое количество осадков по сравнению с равнинными районами

Казахстана [12]. Среднее годовое количество осадков составляет 536 мм. В холодный период выпадает 37 % их годовой суммы.

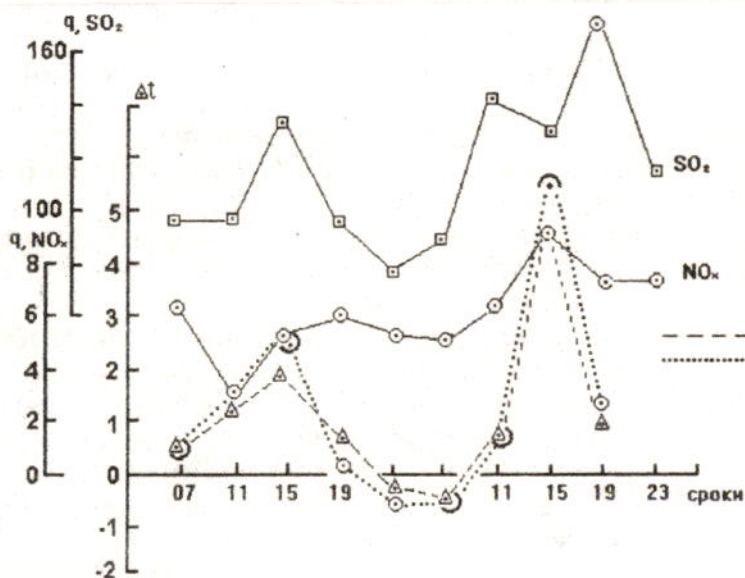


Рис. 5. Временной ход разности температур в слоях земля - 100 м (1) и 60-100 м (2) и концентраций SO_2 и NO_x у земли

Количество суток с твердыми осадками в году составляет 57. Этот физический фактор приводит к практически полному вымыванию большинства примесей из атмосферы в почву, поверхностные воды и т.д. Его роль для города значительна [3,12]. Для оценки влияния этого фактора, помимо данных, полученных во время эксперимента, использованы наблюдения Гидрометцентра за 1994 и 1996 гг. Сравнивались концентрации SO_2 и NO_x перед началом осадков, во время их выпадения или сразу по окончании. Найдена следующая зависимость: концентрация SO_2 во время осадков увеличивается в среднем в 1,7 раза по сравнению с ее концентрацией перед их началом, а концентрация NO_x - 1,5 раза. Такие колебания концентраций соизмеримы с их вариацией при изменении технологических режимов работы энергопредприятий [6-11]. В то же время увязать изменение концентраций ВВ с количеством или интенсивностью осадков не удалось в виду отсутствия данных измерений этих характеристик в местах взятия проб воздуха.

В результате выполненных исследований особенностей распределения концентраций ВВ в воздушном бассейне города получено следующее:

- построены типовые карты распределения скорости ветра и нормированных концентраций SO_2 и NO_x для трех наиболее часто встречающихся направлений ветра: юго-восточного, западного и северо-западного на высотах 60 - 100 м, что дает возможность прогнозировать распределение концентраций этих ингредиентов по городу;
- показано, что при северо-западном ветре, отличающемся большими скоростями на высотах 60-100 м и слабыми ветрами или штилем у земли, значительны нисходящие потоки и крупномасштабная турбулентность, способствующие опусканию выбросов ВВ до земли, приводящему к образованию здесь очагов с большой их концентрацией;
- концентрация ВВ у земли сильно зависит от вертикальной устойчивости атмосферы. В зависимости от распределения температуры в слое земля-100 м она может изменяться в 1,5 - 2,0 раза;
- выпадение осадков повышает концентрацию SO_2 у земли в среднем в 1,7 раза, а NO_x - в 1,5 раза. Концентрация SO_2 у промплощадки при осадках повышается сильнее (примерно на 30 %), чем в других точках, что объясняется большей ее концентрацией у источника на высотах, чем на расстоянии от него;
- вариации концентраций ВВ под влиянием метеоусловий соизмеримы, а часто превышают их колебания, вызванные сменой технологических режимов работы энергетических предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 273 с.
3. Исследование динамики приземных концентраций ВВ от теплоисточников "Алтайэнерго": Отчет о НИР/ЭИ и КазГУ, научный руководитель В.С. Чередниченко. - № ГР 019500299069. - Алматы, 1995. - 40 с.
4. Руководящий документ. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 93 с.
5. Руководящий документ. Отраслевая инструкция по нормированию вредных выбросов в атмосферу для тепловых электростанций и котельных. РД 34.02.303-91.-Свердловск: Уралтехэнерго, 1991.-66 с.

6. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭЦ.- М.: Энергоиздат, 1981. -295 с.
7. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04. - 186-89.- М.: Гидрометеиздат, 1991. - 693 с.
8. Сборник законодательных нормативных и методических документов для экспертизы воздухоохраных мероприятий.-Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 319 с.
9. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами.-Л.: Гидрометеиздат, 1986.-183 с.
10. Сонькин Л.Р. Синоптико - статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1991.-223 с.
11. Экологические проблемы энергетики./ Под ред. Панина А.А.- Новосибирск: Наука, 1989. - 322 с.
12. Справочник по климату СССР. Вып.18. Казахская ССР. Ч.3. Ветер. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 668 с.
13. Справочник по климату СССР. Вып.18. Казахская ССР. Ч.2. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 550 с.

Казахский Государственный Национальный
Университет им. аль - Фараби

Акционерное Общество "Алтайэнерго"

Казахский научно - исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫНЫҢ АУА АЛҚАБЫНДА
SO₂ МЕН NO_x ҚОСПАСЫНЫҢ
МЕТЕОЖАҒДАЙҒА БАЙЛАНЫСТЫ
ОРНАЛАСУЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

ЖМ АҒ академигі В.С. Чередниченко
Техн. ғ. канд. А.А. Тютяев
В.С. Недовесов
А.В. Чередниченко

Өскемен қаласының әр түрлі аудандарында жиіленген эксперименттік өлшеулердің метеорологиялық мөлшерлері мен зиянды заттардың қоюлану нәтижелерін қолдану арқылы жер бетіне жақын SO₂ мен NO_x элементтерінің қайталануы ең жиі кездесетін үш румбтар үшін 100 м биіктікте желдің бағытына байланысты қалыпты қоюлануының және желдің орташа алқабының түрлі үлгісі жасалды. Биіктіктегі өлшеулердің нәтижелері бойынша 100 м жер қабатында температураның реттелуімен және жер бетіне жақын SO₂ және NO_x қоюланудың арасындағы сандық байланысына баға берілді. Сонымен қатар қоспалардың қоюлануына жауын-шашынның әсеріне баға берілді.