

УДК 519.63:51-7

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

**Абдушукуров А.А.**

д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой,  
Национальный университет Узбекистана,  
e-mail: a\_abdushukurov@rambler.ru

**Равшанов З.Н.**

магистр,  
Национальный университет Узбекистана,  
тел.: +(99871) 237-62-34

В работе рассмотрена проблема, связанная с исследованием влияния основных погодных-климатических факторов, рельефа местности и особенностей циркуляции ветровых режимов, характерных для Среднеазиатского региона на процесс распространения вредных веществ в атмосфере. В статье приведены формулы для определения основных параметров процесса распространения вредных веществ в атмосфере: изменений скорости ветра, коэффициентов турбулентности по вертикали и шероховатости подстилающей поверхности. Проведен анализ многолетних данных по скоростям ветра, относительной влажности воздуха и других синоптических параметров. На основе анализа и статистической обработки многолетних данных получена синусоидальная зависимость для вычисления коэффициента поглощения, который зависит от влажности воздушной массы атмосферы и числа осадков. Приведены выводы по основным параметрам процесса.

**Ключевые слова:** математическая модель, численный эксперимент, экология, вредные частицы, скорость ветра, мониторинг, прогнозирование.

## RESEARCH OF THE EFFECT OF MAIN WEATHER-CLIMATIC FACTORS ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF INDUSTRIAL AREAS

Abdushukurov A.A., Ravshanov Z.N.

In this paper, the problem of survey of the effect of the main weather-climatic factors, relief of the terrain and circulation characteristic of wind regimes, which are specific to the Central Asian region, on the process of distribution of harmful substances in the atmosphere is considered, which is actual and demands solution. There were given formulas for determination of main parameters of the distribution process of harmful substances in the atmosphere: change of the wind speed and coefficient of the turbulence and vertical roughness. Analysis of the data collected during many years of the wind speed, relative humidity of the air and other synoptic parameters is mentioned. On the basis of analysis and statistical processing of long term data, sinusoidal relation for computing the absorption coefficient which is related to the humidity of air mass of the atmosphere and the number of precipitations is received and summary of main parameters of the process is given.

**Keywords:** mathematical model, numerical experiment, ecology, harmful particles, wind speed, monitoring, forecasting.

## ASOSIY OB-HAVO VA IQLIM OMILLARINING SANOAT HUDUDLARI EKOLOGIK SHAROITIGA TA'SIRI USTIDA TADQIQOT

Abdushukurov A.A., Ravshanov Z.N.

Maqolada O'rta Osiyo hududiga xos bo'lgan asosiy ob-havo va iqlim omillari, hudud relyefi va shamol rejimlari sirkulyatsiya xususiyatlarining zararli moddalarning atmosferada tarqalish jarayoniga ta'siri bilan bog'liq, muhim va yechim talab qiladigan muammo qarab chiqilgan. Maqolada atmosferada zararli moddalar tarqalishining asosiy parametrlarini, shamol tezligining o'zgarishini va turbulentslik va vertikal g'adir-budurlik koeffitsientini aniqlash formulalari berilgan. Shamol tezligi, havoning nisbiy namligi va boshqa sinoptik parametrlar bo'yicha ko'p yillik ma'lumotlarning tahlili berilgan. Ko'p yillik ma'lumotlarning tahlili va statistik jihatdan qayta ishlash asosida yutilish

koefitsientini hisoblash uchun atmosfera havo massasining namligi va yog'ingarchiliklar soniga bog'liq bo'lgan sinusoidal ko'rinishidagi bog'liqlik olingan va jarayonning asosiy parametrlari bo'yicha xulosalar berilgan.

**Kalit so'zlar:** matematik model, sonli tajriba, ekologiya, zararli zarrachalar, shamol tezligi, monitoring, prognoz qilish.

## 1. Введение

Уровень загрязнения атмосферы особенно высок в густонаселенных странах с быстрым экономическим ростом и развитием промышленности. В результате увеличения и интенсивного роста производства объём выбрасываемых в атмосферу вредных веществ в виде аэрозолей растёт, что ведёт к дисбалансу экологической ситуации территорий с возможным изменением климатических условий.

С этой точки зрения оценка загрязнения атмосферы и подстилающей поверхности пассивными и активными аэрозольными выбросами, размещение промышленных объектов с соблюдением санитарных норм, определение интенсивности и степени загрязнения воздушного и водного бассейнов, а также оценка воздействия загрязнений на флору и фауну являются актуальными вопросами в проблеме охраны окружающей среды не только в рамках района, области или республики, но и во всём мире. Соответственно и сами проблемы охраны окружающей среды и её защиты от техногенных факторов являются актуальными, требующими тщательно взвешенных решений.

Анализ и мониторинг за последнее время экологического состояния городов и промышленных регионов показали, что во всём мире, где большими темпами растут объекты производства, например, Китай, Индия, Великобритания, Япония, Северная Корея и ряд европейских государств, Россия и др. часто наблюдаются экологические всплески за счёт большого объёма выбросов в атмосферу вредных веществ и углекислых газов. Частота экологических угроз в выше указанных государствах день за днем растёт.

Проведённые исследования показали, что эти негативные воздействия не только ухудшают экологическое состояние атмосферы и почвы-грунта, но и ведут к изменению климата на всём Земном шаре.

В настоящее время имеется достаточное количество работ, посвящённых решению экологических проблем, защите и охране окружающей среды, а также исследованию технологического процесса фильтрации ионизированных растворов, выбрасываемые в виде жидкостей из объектов производства с целью уменьшения их количества в атмосферу и окружающую среду.

Одним из эффективных инструментов для проведения комплексного исследования указанных выше задач – математическое моделирование и вычислительный эксперимент с использованием современных достижений IT-технологий. В данном направлении активно работали и продолжают исследования многие зарубежные учёные: R. Dvorak, F.V Zboril, R Bergström., H.A Denier van der Gon., A

D. Simpson, A. Devasthale, M.A. Thomas, G.C. Miller, J.N. Seiber, Laflen J.M., Jane L.J., Foster G.R., Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W., Opsomer J., Speckman P., Kaiser M., Jones J., Riebrame W., Shugart H.H., Smith T.M., Zudema G., Borm G.J., Г.И. Марчук, А.А.Самарский, Лунев М.И., Берлянд М.Е., Белолипецкий В.М., Шокин Ю.И. Г.Ф.Требин, А.Э.Шейдеггер, В. А. Жужиков, а также исследователи в Республике Узбекистан: Ф.Б Абуталиев, Каримбердиева С. и другие, которые уже внесли свой существенный вклад.

В работе В.В. Пененко [1] изложены некоторые аспекты методологии моделирования, а именно вариационные принципы и методы оптимизации для совместного использования численных моделей и данных мониторинга.

Значительные достижения в области математического моделирования атмосферных процессов содержатся в работах А.Е. Алояна и его учеников [2]. В частности, авторы рассматривают математическую модель переноса многокомпонентной примеси с учётом фотохимической трансформации и образования аэрозолей в тропосфере северного полушария с учётом кинетических процессов нуклеации, конденсации и коагуляции.

В работах Г.И. Марчука и его научной школы [3] создана целая методология математического моделирования, исследованы её фундаментальные вопросы и разработаны оригинальные конструктивные подходы к изучению циркуляции атмосферы и океана, а также к решению с помощью математических моделей задач прогноза погоды, теории климата и охраны окружающей среды.

Прогнозирование распространения вредных веществ в регионе, прилегающего к конкретному производственному объекту, исходя из характеристик данных веществ, а также погодноклиматических условий, позволяет принять краткосрочные и долгосрочные решения по расположению и режиму работы предприятия.

Однако всестороннее изучение особенностей распространения вредных веществ в окружающую среду (атмосфера и подземные воды) с помощью математических моделей и вычислительных экспериментов на ЭВМ с целью выявления условий наиболее точного описания изучаемых процессов требует дальнейшего развития. Исходя из сказанного, необходимо проведение комплексного исследования для анализа, функционирования и прогнозирования процесса распространения вредных веществ на основе разработанных адекватных математических моделей, методов их решения и соответствующего программно-инструментального обеспечения.

Один из существенных параметров, которые действуют на процесс распространения вредных веществ в пограничном слое атмосферы – это

скорости ветра по вертикали и по горизонтали, коэффициент турбулентности, который зависит от шероховатости поверхности земли, орография местности, изменение направление ветра в сутках и относительная влажность воздуха и других погодно-климатических факторов.

## 2. Методы решения задачи

С учетом выше сказанного рассмотрим процесс изменения скорости ветра и коэффициента турбулентности по вертикали.

Анализ распределения и оценка порядка различных членов уравнения, описывающей скорости ветра по вертикали, показали, что в приземном слое атмосферы они существенно упрощаются и можно записать в виде [4-5]:

$$k\rho \frac{dW}{dz} = G, \quad (1)$$

$$\frac{U}{V} = tg\alpha. \quad (2)$$

Здесь  $W = \sqrt{U^2 + V^2}$  - модуль скорости ветра,  $G$  - напряжения поверхностного трения,  $U$ ,  $V$  - проекция скорости ветра по оси  $X$  и  $Y$ ,  $\alpha$  - угол отклонения ветра от изобары,  $k$  - коэффициента турбулентности,  $\rho$  - плотность атмосферы.

Из уравнений (1), (2) следует, что напряжения турбулентного трения и угол отклонения ветра не изменяются по высоте.

Как было рассмотрено в работе [4], коэффициент турбулентности связан с путем смещения  $\ell$ , который называется масштабом турбулентности, и вычисляется с помощью формулы:

$$k = \ell^2 \frac{dW}{dZ} \quad (3)$$

и с учетом уравнения (1) примет вид

$$\ell \frac{dW}{dZ} = U_T, \quad (4)$$

где  $U_T = \sqrt{G/\rho}$  - скорость трения.

На основе теории подобия можно записать формулу Прандтль следующим образом

$$\ell = \eta(Z + Z_0).$$

Здесь  $Z$  - высота над земной поверхностью;  $Z_0$  - параметр шероховатости;  $\eta = 0,38$  постоянная Кармана.

Для вычисления скорости ветра, в приземном слое атмосферы интегрируя уравнения (4) то  $Z = 0$  до произвольной высоты  $Z$  получим

$$W(Z) = \frac{U_T}{\eta} \ln \frac{Z + Z_0}{Z} \quad (5)$$

Если у нас задано на высоте  $Z_2$  скорости ветра с помощью

$$W_2 = \frac{U_T}{\eta} \ln \frac{Z + Z_0}{Z_0}. \quad (6)$$

По заданной скорости ветра на высоте  $Z_2$  можно определить скорость трения  $U_T$ .

Полученного отношения, поставляя в уравнение (2), получим формулу для вычисления скорости ветра по вертикали

$$W(Z) = W_2 \frac{\ln \frac{Z + Z_0}{Z_0}}{\ln \frac{Z_2 + Z_0}{Z_0}}. \quad (7)$$

Дифференцируя уравнение (7) и полученное соотношение, подставляя в (3) получим уравнение для вычисления коэффициента турбулентности

$$k(Z) = \eta^2 \frac{W_2}{\ln \frac{Z_2 + Z_0}{Z_0}} (Z + Z_0). \quad (8)$$

Надо отметить, что горизонтальная составляющая скорости ветра в свободной атмосфере значительно больше, чем у поверхности земли, а на поверхности земли или воды за счет коэффициента прилипания и неровностями подстилающей поверхности она приравнивается к нулю.

С удалением от поверхности Земли за счет уменьшения коэффициента прилипания и эффект трения скоростей воздушного потока по горизонтали и вертикали возрастает.

Изменения скорости ветра в приземном слое атмосферы при безразличной стратификации хорошо описывается логарифмической формулой [7]

$$u(z) = u_0 \frac{\ln z - \ln z_0}{\ln z_1 - \ln z_0}, \quad (9)$$

где:  $u_0$  – скорость ветра на высоте  $z_1 = 1$  м.

Надо отметить, что при больших значениях коэффициента шероховатости вводится высота вытеснения  $d$ , т.е. уровень, от которого следует отсчитывать логарифмический профиль ветра, и тогда в формуле 9 вместо  $z$  используют  $(z-d)$  и получим следующую формулу

$$u(z) = u_0 \frac{\ln(z-d) - \ln z_0}{\ln z_1 - \ln z_0}. \quad (10)$$

## 3. Обсуждение результатов

Из кривых рис. 1 видно, что изменения скорости воздушной массы атмосферы по вертикали существенно зависит от значения скорости ветра, заданной на подстилающей поверхности земли. С ростом скорости ветра на поверхности земли пропорционально растет вертикальная составляющая скорости воздушной массы атмосферы до определенной высоты, а далее эта рост незаметно уменьшается.

Другой фактор, который действует на изменения скорости ветра в пограничном слое атмосферы – это коэффициент шероховатости (рис. 2). Перераспределение и рост скорости ветра по вертикали растет с ростом коэффициента шероховатости. При малых значениях коэффициента шероховатости рост скорости ветра по вертикали не

замечается. Численные расчеты, проведенные с различными значениями коэффициента шероховатости, показали, что с ростом его значения пропорционально растет скорость ветра по высоте.

Изменение коэффициента шероховатости в зависимости от подстилающей поверхности земли приведено в работе [6], табл.1.

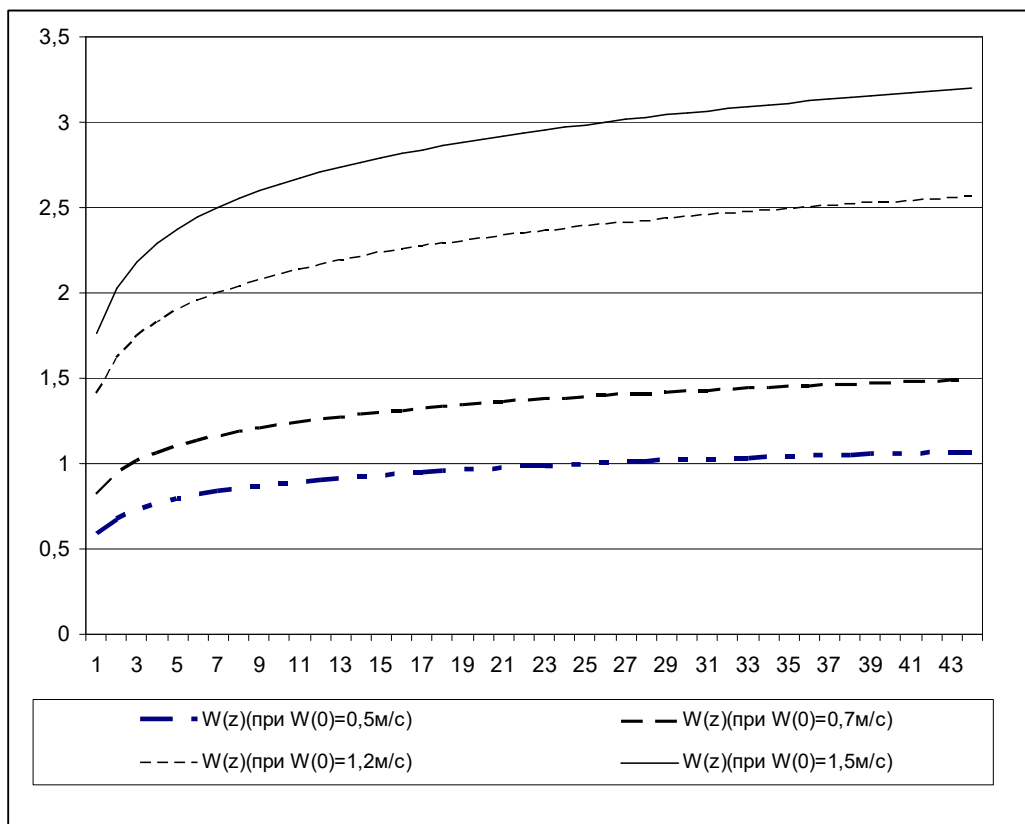


Рис. 1. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от первоначальной скорости на поверхности земли

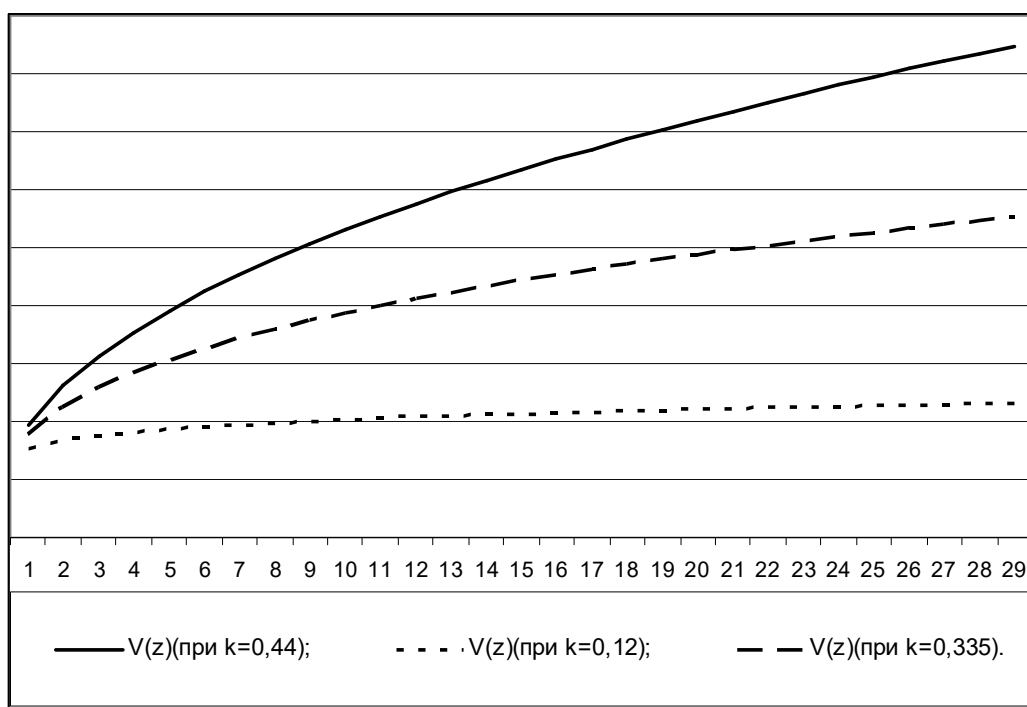


Рис. 2. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от коэффициента шероховатости земли

Таблица 1

Изменение коэффициента шероховатости в зависимости от подстилающей поверхности земли

Класс шероховатости	Характеристика ландшафта	Степенной показатель (k)
0	Водная поверхность	0,0
0,5	Полностью открытый ландшафт с мягкой поверхностью типа взлётно-посадочных полос в аэропортах, скошенной травой и т.п.	0,12
1,0	Открытые сельскохозяйственные земли с одиночными зданиями	0,245
1,5	Сельскохозяйственные земли с отдельными зданиями и 8-ми метровыми оградами на расстоянии » 1250 м	0,275
2,0	Сельскохозяйственные земли с отдельными зданиями и 8-ми метровыми оградами на расстоянии » 500 м	0,30
2,5	Сельскохозяйственные земли с группами зданий и 8-ми метровыми оградами на расстоянии » 250 м	0,335
3,0	Деревни, малые города, сельскохозяйственные земли с отдельными зданиями и высокими оградами, лесом и резко пересечённой местностью	0,37
3,5	Большие города с высокими зданиями	0,405
4,0	Очень большие города с высокими зданиями и небоскрёбами	0,44

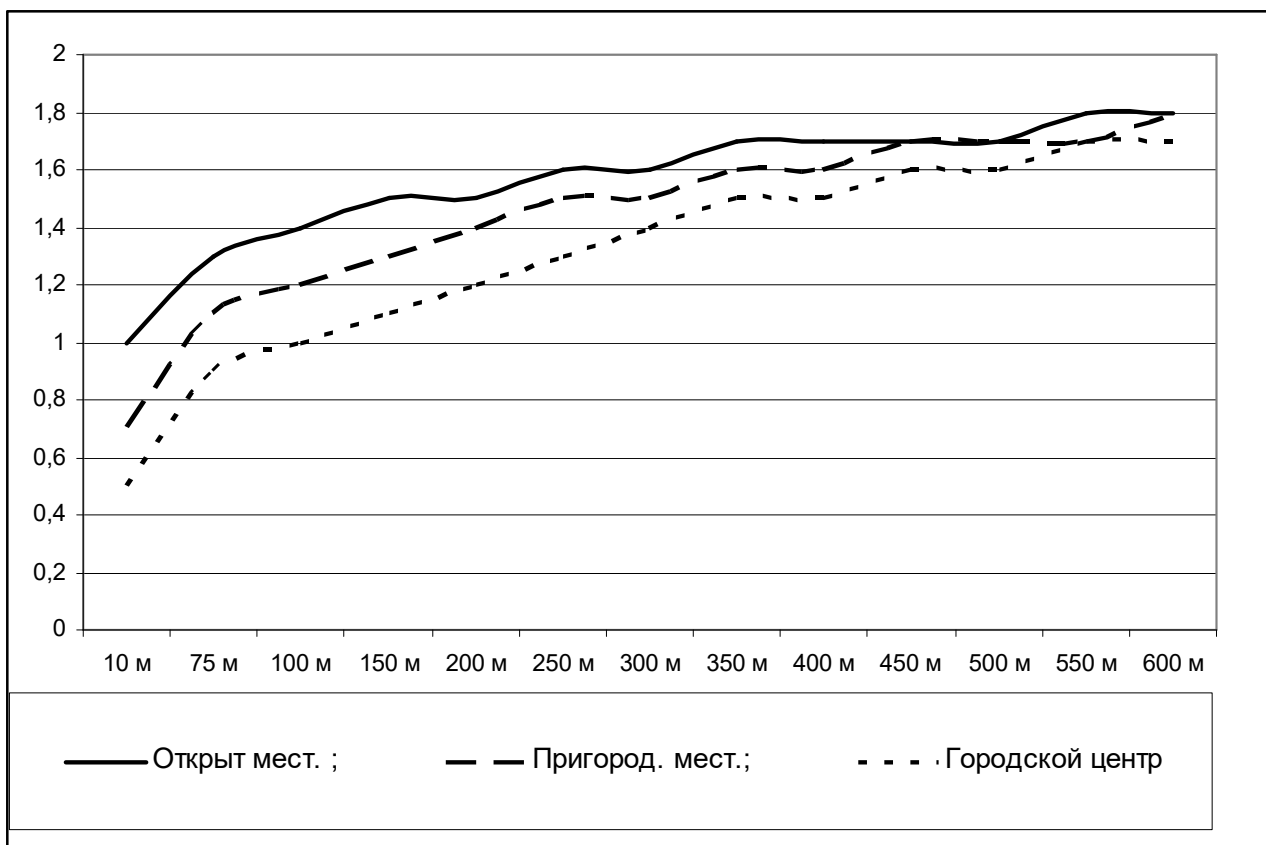


Рис. 3. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от местности (при  $W(0) = 1$  м/с.)

Численный эксперимент был проведен на ЭВМ для вычисления скоростей ветра по высоте при задании различных значений скорости ветра на поверхности земли при открытой, пригородной и городской местности (рис. 3-5). Как видно из рис. 2-5,

существенное изменение в скоростях ветра по высоте происходят от 75 до 150 м, а далее при высоте  $Z > 400$  м приравнивается скорости ветра по вертикали.

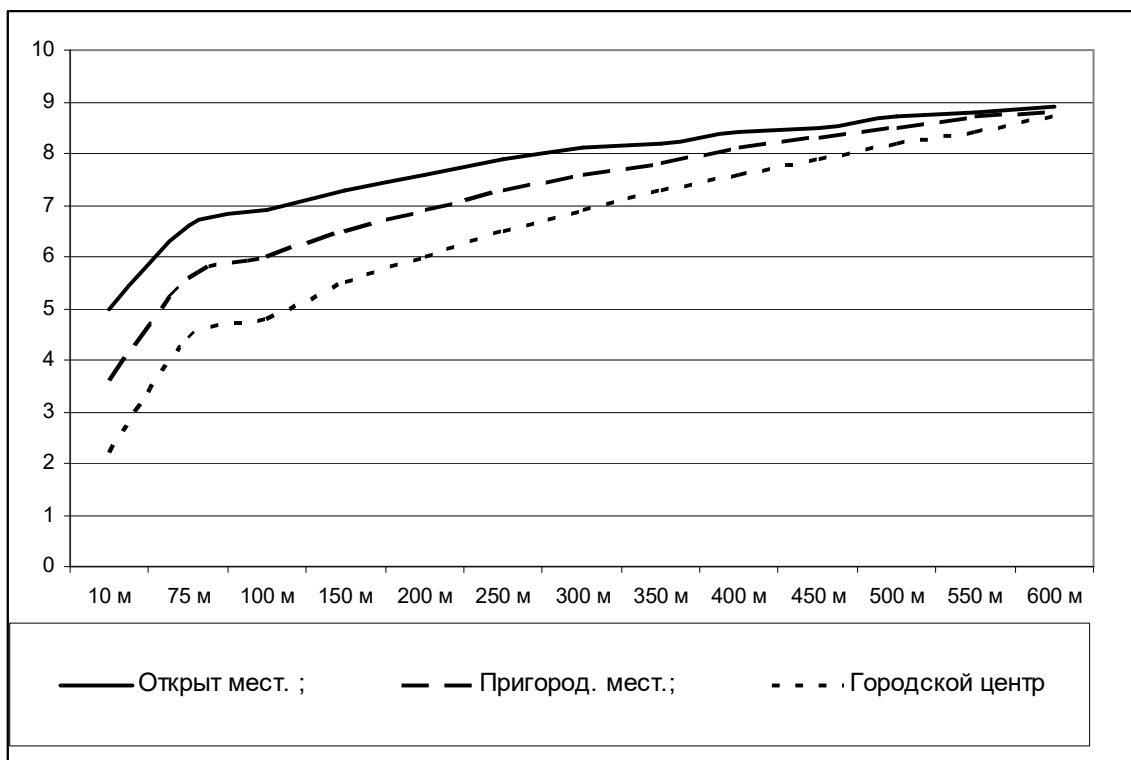


Рис. 4. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от местности (при  $W(0) = 5$  м/с.)

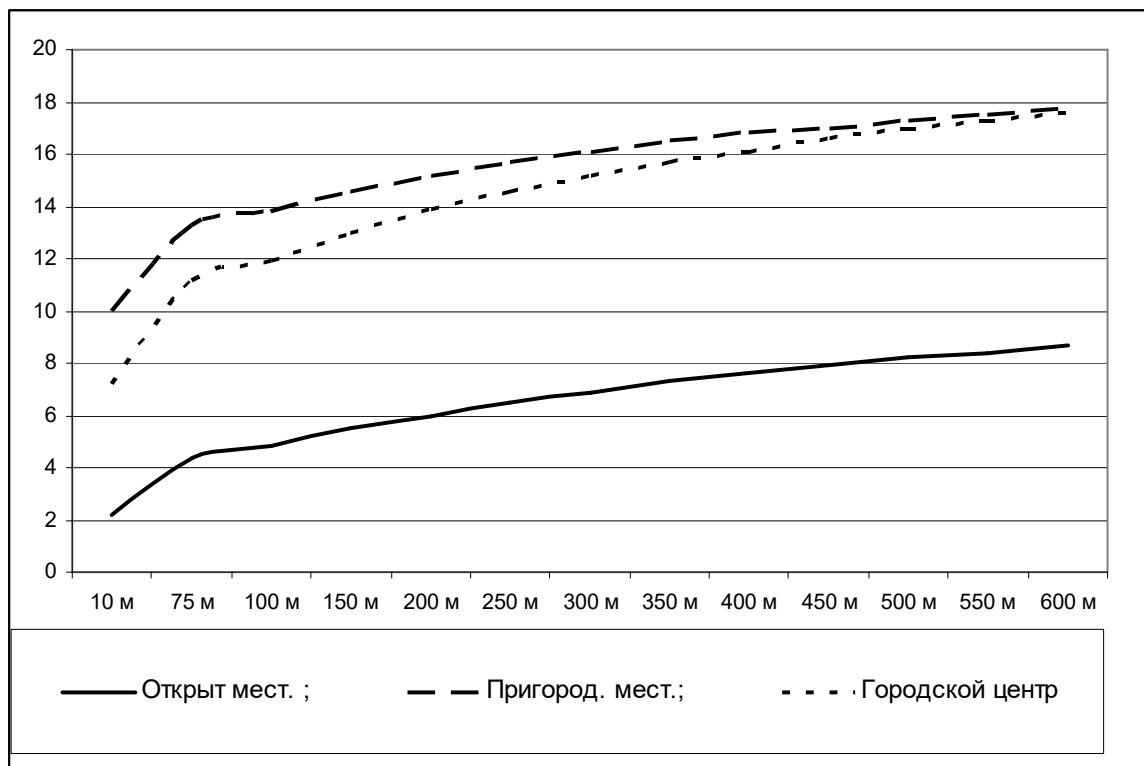


Рис. 5. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от местности (при  $W(0) = 10$  м/с.)

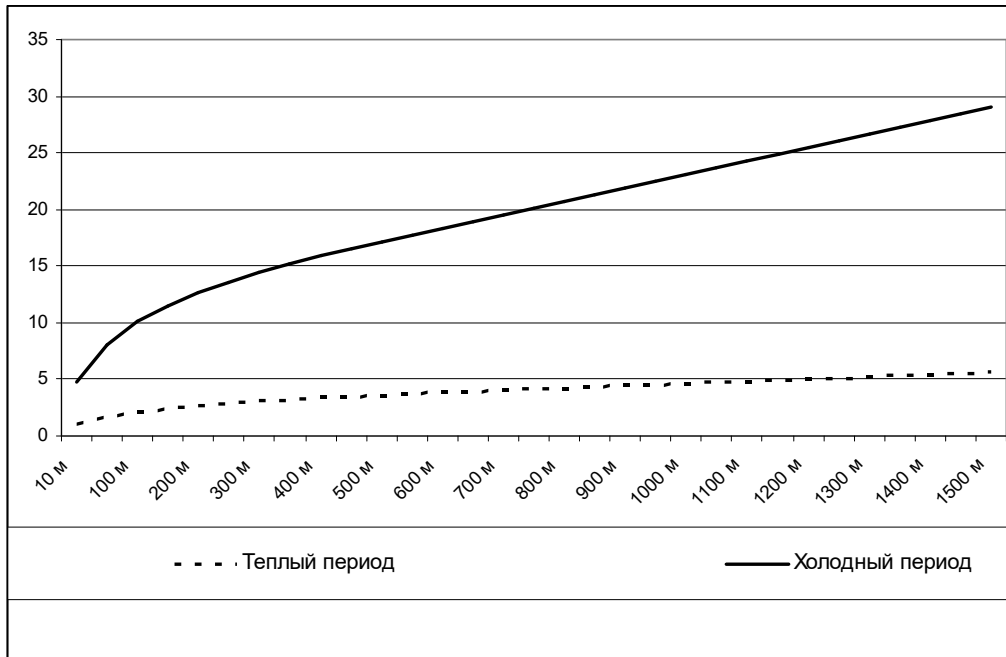


Рис. 6. Изменение скорости ветра по вертикали в зависимости от период времени

Проведенными вычислительными экспериментами установлены, что на распределения скорости ветра по вертикали существенный роль играет влажность и температура воздушной массы атмосферы (рис. 6). Как видно из кривых рис. 6, холодные времена года

скорость ветра по вертикали растет по логарифмическому закону, а в теплые времена года скорость ветра по вертикали растет от 10 до 350 м, а далее этот рост умеренно уменьшается.

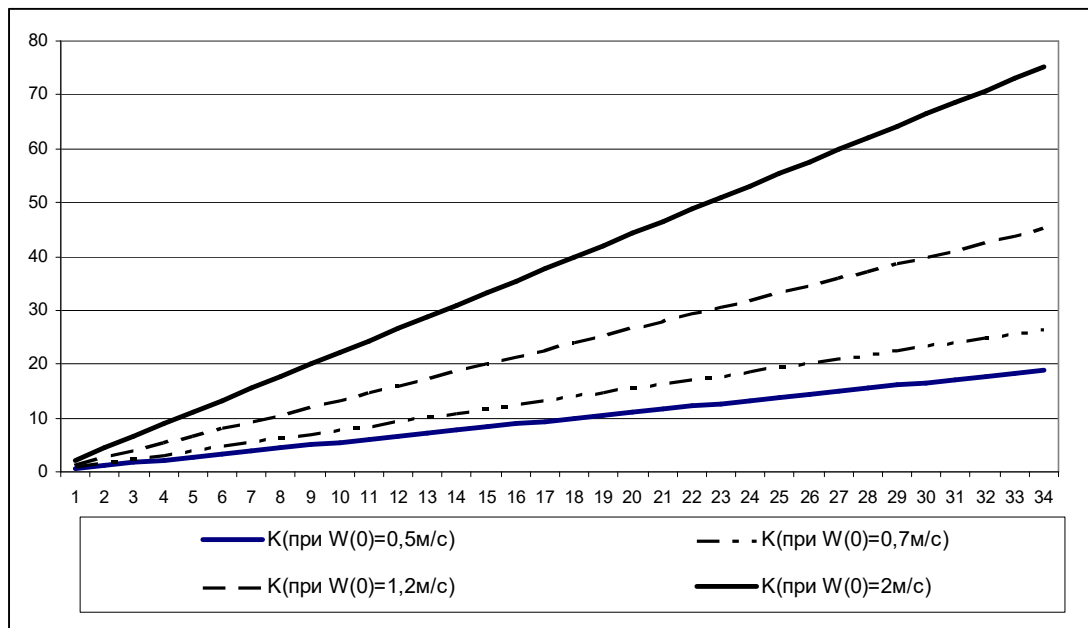


Рис. 7. Изменение коэффициент турбулентности по вертикали в зависимости от первоначальной скорости ветра на поверхности земли

Анализ проведенных численных расчетов на ЭВМ показал, что коэффициент турбулентности, который играет важную роль на скорости осаждения аэрозольных частиц, растет по вертикали по

линейному закону (рис. 7). Как видно из рис. 7, с ростом скорости ветра на поверхности земли значение коэффициента турбулентности растет по высоте.

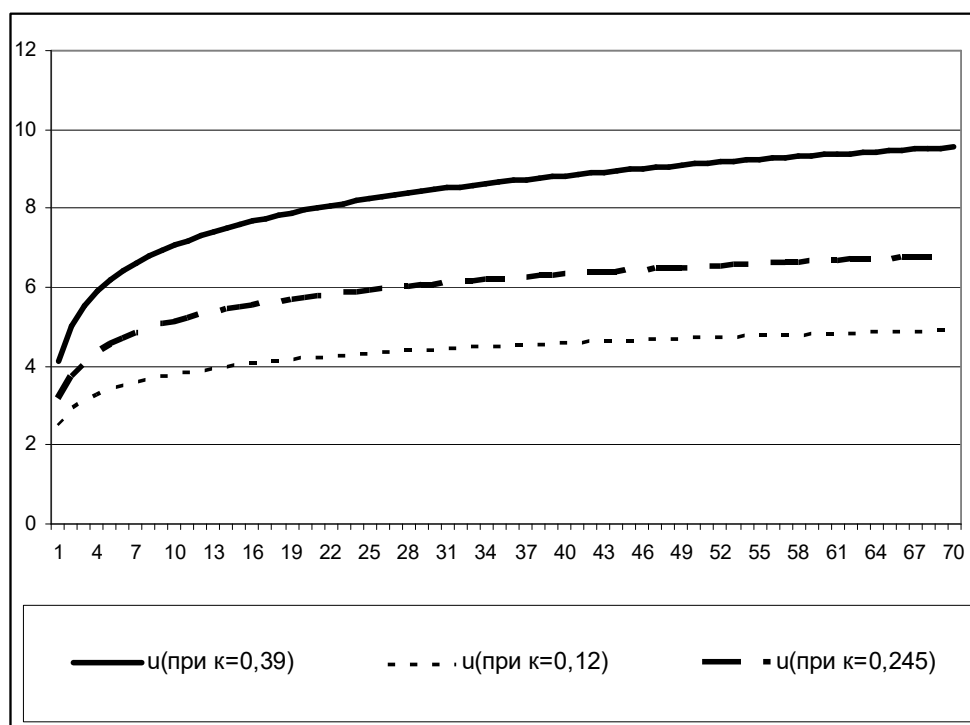


Рис. 8. Изменение скорости ветра по горизонтали в различных слоях атмосферы в зависимости от коэффициента шероховатости земли

Для вычисления скорости ветра по горизонтали были проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ при различных значениях коэффициента шероховатости поступающей поверхности земли и скорости ветра на поверхности земли (рис. 8-9). Как

видно из кривых рис. 8, коэффициент шероховатости земли существенно воздействует на горизонтальное изменение скорости ветра в нижних слоях атмосферы (от 2-50 м).

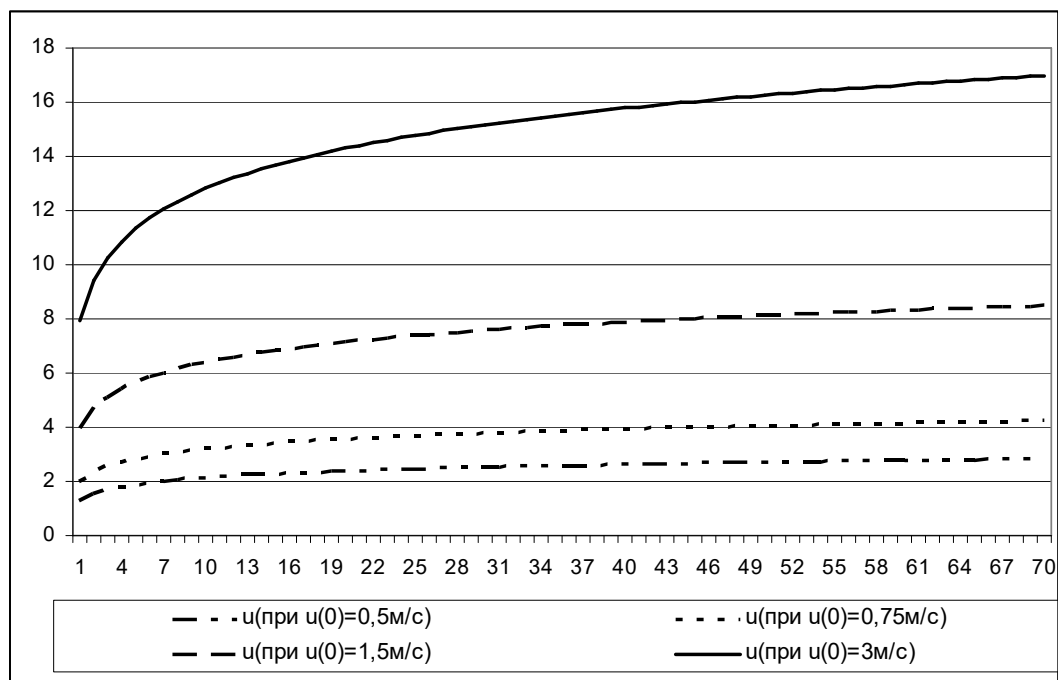


Рис. 9. Изменение скорости ветра по горизонтали в различных слоях атмосферы в зависимости от скорости ветра при  $z = 1$  м

Анализ многолетних данных (рис. 10-12) по скоростям ветра показал, что максимальное значение они получают в основном апрель, май, июнь и июль

месяцы, а минимальное значение для ветра соответствуют ноябрь, декабрь, январь, февраль и март.



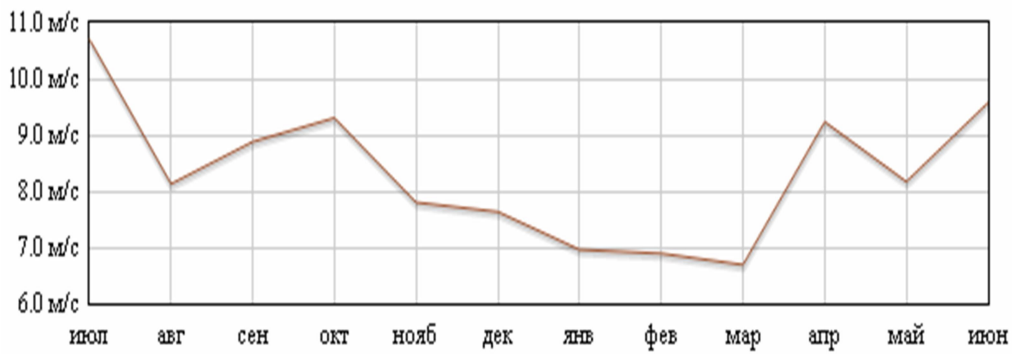


Рис. 10. Среднемесячная скорость ветра за 1965г.

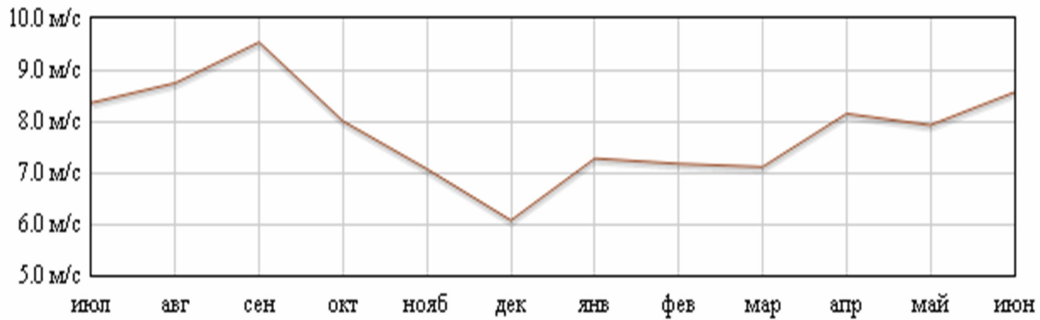


Рис. 11. Среднемесячная скорость ветра за 1970

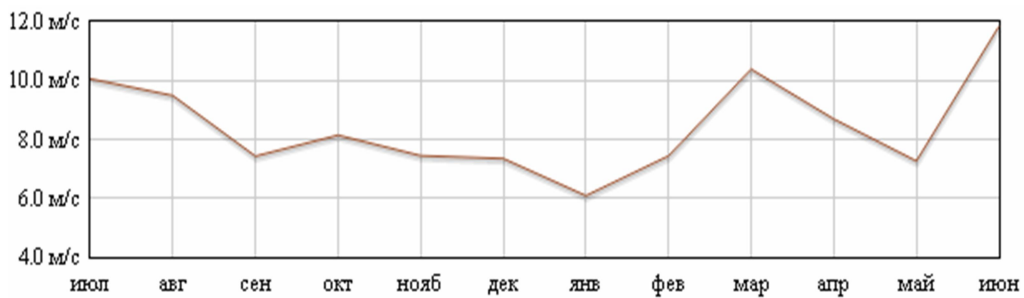


Рис. 12. Среднемесячная скорость ветра за 1975 г.

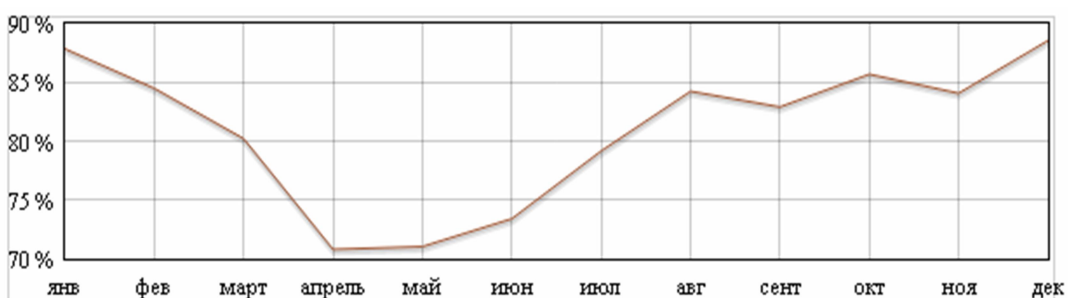


Рис. 13. Изменения относительной влажности за 2008 г.

Как упомянуто выше на экологическое состояние атмосферы промышленных регионов существенную роль играет коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере. В определении этого коэффициента существенную роль играет влажность воздушной массы атмосферы. Изменение относительной влажности воздуха по года и месяцам приведены на рис. 13-15. На основе анализа и статистической обработки многолетних данных

получена синусоидальная зависимость для вычисления коэффициента поглощения [9-10]:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \Delta\sigma \sin \omega t.$$

Здесь  $\sigma_0$  - среднесуточное значение коэффициента поглощения аэрозольных выбросов в атмосфере;  $\Delta\sigma$  - амплитуда изменения коэффициента поглощения за сутки;  $\omega$  - циклическая частота суточного изменения.

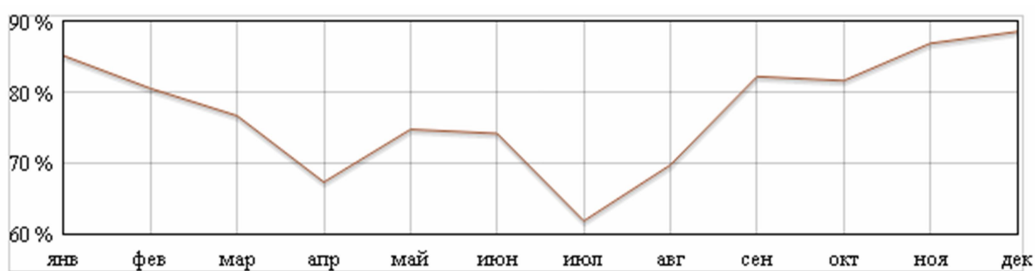


Рис. 14. Изменения относительной влажности за 2010 г.

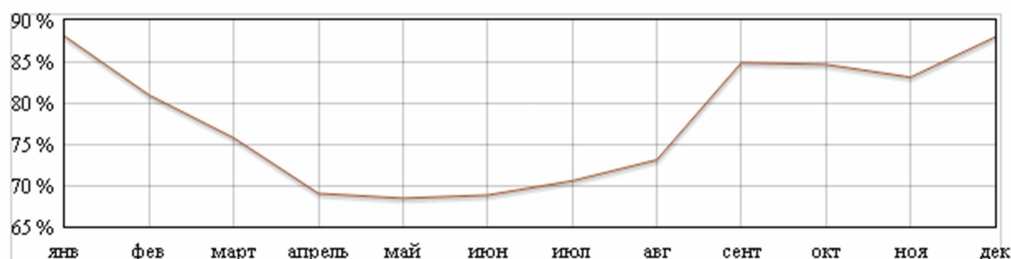


Рис. 15. Изменения относительной влажности за 2012 г.

Еще одним из основных факторов, который существенно действует на процессы распространения и осаждения мелкодисперсных частиц в атмосфере и поверхности земли - это осаждение частиц под действием силы гравитации. Для вычисления скорости осаждения можно рассмотреть три силы, которые действуют на частицу: сила тяжести  $M$ , сила выталкивания  $N$ , сила сопротивления  $R$ , задаваемые в виде:

$$M = mg; N = m_p g; R = k_c S \frac{\rho_p W_g^2}{2}.$$

Здесь  $m$  - масса частицы;  $m_p$  - масса воздуха в объеме;  $S$  - площадь основания частицы;  $W_g$  - скорость осаждения частицы;  $\rho_p$  - плотность воздуха;  $k_c$  - коэффициент сопротивления воздуха.

Когда вредные частицы имеют сферическую форму с диаметром  $d$ , то эти три силы можно вычислить следующим образом;

$$M = \frac{\pi d^3}{6} \rho g; N = \frac{\pi d^3}{6} \rho_p g; R = k_c \frac{\pi d^2}{4} \rho_p \frac{W_g^2}{2}.$$

Теперь пользуясь уравнения равновесия  $M = N + R$ , можно найти скорость осаждения частиц

$$W_g = \sqrt{\frac{4dg(\rho - \rho_p)}{3k_c \rho_p}}. \tag{11}$$

Из соотношения (11) видно, что коэффициент сопротивления  $k_c$  зависит от критерия Рейнольдса:

$$Re_e = \frac{W_g d \rho_p}{\mu_c}. \tag{12}$$

Здесь  $\mu_c$  - коэффициент вязкости, который зависит от степени влажности воздушной массы атмосферы. Из критерия Рейнольдса следует, что: при  $Re_e < 2$  аэрозольные частицы оседают вертикально вниз под действием силы гравитации по закону Стокса (ламинарный режим);

при  $2 < Re_e < 500$  происходит переходный режим; при  $500 < Re_e < 2 \times 10^2$  - область развитой турбулентности, аэрозольные частицы перемещаются в атмосфере хаотично.

При каждом случае соответственно можно вычислить коэффициент сопротивления воздуха:

$$1) k_c = \frac{24}{Re}; 2) k_c = \frac{18,5}{Re}; 3) k_c = 0.44.$$

Используя полученные значения для коэффициента сопротивления воздуха, можно вычислить скорость осаждения аэрозольных частиц, выброшенные из объектов производства.

Как следует из выше сказанных, для мониторинга и прогнозирования экологического состояния каждого региона необходимо учитывать существенные факторы, действующие на процесс распространения вредных веществ в приземном слое атмосферы. На процессы переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере в Среднеазиатском регионе, вследствие сложного рельефа местности, ветровой режим отличается чрезвычайным разнообразием. Если на равнине основную роль играет барический рельеф и характерные для Средней Азии синоптические положения, то в горах ветровой режим зависит, прежде всего, от орографических особенностей местности, а в высокогорной области, кроме того, от циркуляции свободной атмосферы.

Для примера рассмотрим влияние указанных выше факторов и погодных-климатических показателей конкретного региона на его экологическое состояние и рассмотрим промышленный регион Ангрен-Алмалык-Ахангаран (табл. 2-3, рис. 16-19).

В долине реки Ахангаран кроме основной циркуляции вдоль долины, наблюдается еще склоновая циркуляция и целая система горно-долинных ветров из поперечных долин и ущелий.

В зимние месяцы в предгорьях Тянь-Шаня главными барическими образованиями,

определяющими преобладающее направление ветра, являются юго-западная периферия отрога зимнего азиатского максимума и горный орографический антициклон. Соответственно направлению барических градиентов и ориентировке горных хребтов преобладающими являются ветра восточных и северо-восточных направлений. Средняя скорость этих ветров 1,6 – 3,9 м/с.

Весной в горной области еще сохраняется орографический антициклон. Градиенты давления несколько ослаблены, но по-прежнему направлены к равнине. Соответственно этому ветры в предгорьях сохраняют, в основном, прежнее направление. Лишь на станции Дальверзин, благодаря исчезновению области повышенного давления, происходит

изменение преобладающего зимой восточного направления на западное.

Основополагающее значение в формировании условий рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере имеет повторяемость ветров со скоростью 0,5-1,4 м/с. При ветрах с такой скоростью интенсивно развиваются процессы аккумуляции продуктов выбросов в приземном слое атмосферы. В отдельных случаях, когда такие ветра продолжительны по времени, в приземном слое атмосферы могут сформироваться чрезвычайно высокие уровни загрязнения даже при небольшом выбросе загрязняющих веществ.

Таблица 2

Среднемесячная и годовая скорость ветра, в м/с по метеорологическим станциям Ангрэн-Алмалык-Ахангаран

Метео-станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ср. год
Камчик	1,7	2,0	2,4	2,7	2,7	2,3	2,5	2,3	2,6	2,2	1,5	1,6	2,2
Кызылча	2,0	2,0	1,9	2,3	2,0	2,3	2,4	2,4	2,3	1,9	1,9	2,0	2,1
Дукант	0,9	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9	1,8	1,6	1,1	0,8	0,8	1,3
Наугарзан	3,5	3,3	3,4	3,4	3,0	3,2	3,1	3,0	3,0	3,3	3,5	3,2	3,3
Аблык	2,6	2,8	3,0	3,0	2,9	3,2	3,4	3,3	2,9	2,6	2,5	2,4	2,9
Турк	5,0	4,8	4,9	4,2	4,1	4,5	4,6	4,4	4,0	3,7	4,1	4,6	4,4
Ангрэн	2,2	2,4	2,5	2,5	2,4	2,6	2,7	2,5	2,2	2,0	2,2	2,3	2,4
Алмалык	2,3	2,2	2,5	2,9	3,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,3	2,3	2,6
Дальверзин	1,8	1,9	2,0	1,9	1,8	1,8	1,5	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6
Каунчи	1,2	1,5	2,0	2,1	2,2	2,0	1,7	1,6	1,5	1,5	1,3	1,2	1,6
Кокарал	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,7
Пскем	1,2	1,3	1,6	2,1	1,8	1,8	2,3	3,0	2,8	1,0	1,3	1,1	1,8
Тойтубе	1,3	1,6	1,8	1,9	1,9	1,8	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,5
Тюябугуз	0,9	1,1	1,4	1,6	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	1,9	0,9	1,2

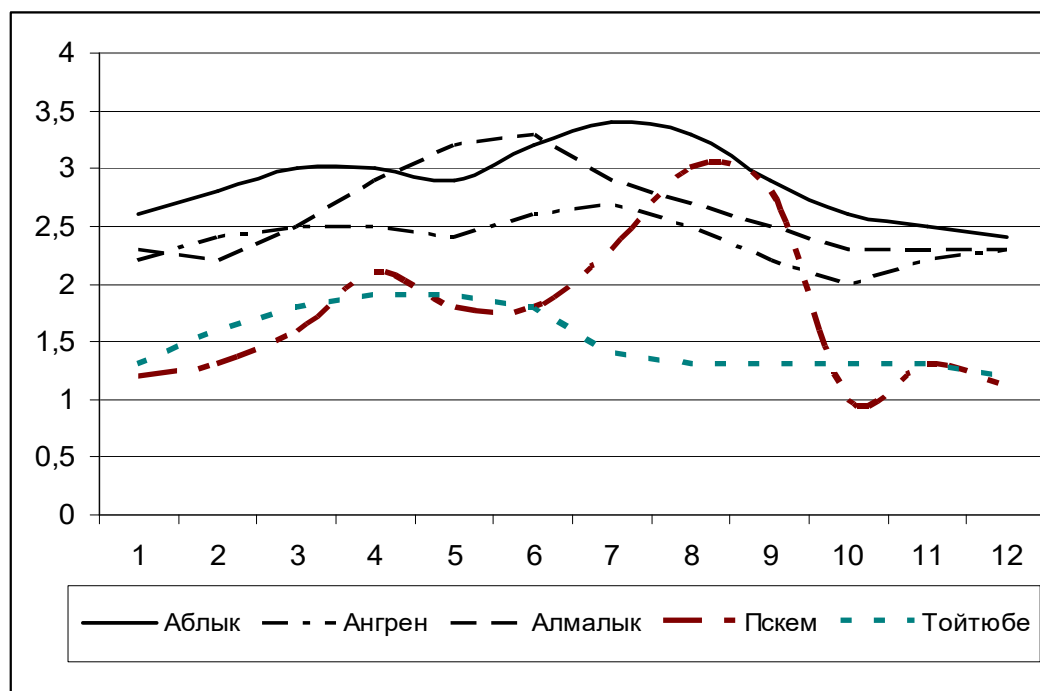


Рис. 16. Среднемесячная скорость ветра, в м/с по метеорологическим станциям Ангрэн-Алмалык-Ахангаран

Из анализа проведенных расчетов видно, что средняя скорость ветра в Аблык, Алмалык и Ангрене завьшены чем в других районах данного региона. Максимальное и минимальное значение скорости ветра по каждому местности региона соответствует по разному, например, для Аблыка минимальное значение средняя скорости ветра соответствует январь-февраль, ноябрь-декабрь месяцы, а максимальное значение июль-август месяцы, для Пескема минимальное значение соответствует ноябрь месяц, максимальное значение соответствует август-сентябрь месяцы. Минимальный контраст скорости ветра между минимальных и максимальных значения наблюдается в населенной районе Тойтуба. Резкий контраст между максимальное и минимальное скорости ветра за год наблюдается в Пескеме.

Из данных, полученных по метеорологическим станциям Ангрэн-Алмалык-Ахангаран (табл. 2), видно, что на станции Тюябугуз преобладают, в основном, ветра, дующие вдоль чаши водохранилища, а на станции Алмалык остаются преобладающими ветра восточного направления, но их скорость несколько снижается. В среднем же скорости преобладающих ветров остаются в прежних пределах – 1,8-4,4 м/с. Осенью с увеличением над горной областью орографического антициклона вновь увеличивается повторяемость ветров в восточной четверти, но незначительно уменьшается их скорость. Она варьируется в пределах 1,4 до 3,1 м/с. Лишь на станции Ангрэн в сентябре еще преобладают ветра юго-западного направления, в октябре повторяемость ветров юго-западного и северо-восточного направлений, а в ноябре преобладающими уже становятся ветра северо-восточного направления.

Ветровой режим на станциях Кызылча, Наугарзан, Дукант, расположенных на высоте свыше 1 км, характеризует горную область. Преобладающие ветра в Наугарзане продолжают оставаться такими же, как и в предгорьях, со сменой восточного направления зимой на западное весной, а на высоте свыше 2 км преобладают направления горно-долинного ветра.

Как видно из кривых рис. 16, скорости преобладающих ветров от сезона к сезону меняются незначительно и средние скорости ветров в станциях Ангрэн, Песком и Тойтубе невелики, а большей частью они колеблются от 1,2 м/с в Тюябугузе до 3,2 м/с в Наугарзане. Наибольшие скорости ветра в течение года отмечаются в конце весны и летом, а осенью и зимой они снижаются. Лишь на станции Наугарзан отмечается противоположная картина, при которой наибольшими скоростями характеризуется зимний ветер, в конце весны и в начале осени скорость его минимальна.

Число штилей колеблется от 12% на станции Кашкарал до 57% в Дуканте, причем от зимы к лету число случаев штилевой погоды снижается почти в 2 раза по всему Ангрэн-Алмалык-Ахангаранского регионе.

Суточный максимум скорости ветра отмечается в дневные часы. Этот суточный ход сохраняется во все сезоны года. А горно-долинную циркуляцию реки Ахангаран можно считать классическим случаем горного бриза.

Надо отметить, что с точки зрения загрязнения атмосферного воздуха горно-долинная циркуляция, проявляющаяся в доминировании и ритмичной смене двух направлений ветра, обуславливает маятниковую миграцию продуктов выбросов промышленных предприятий в приземном слое атмосферы, формируя тем самым секторное загрязнение и высокий уровень техногенного давления на природные комплексы Ангрэн-Алмалык-Ахангаранского региона.

Из выше указанного следует, что неправильное расположение и проектирование новых промышленных объектов производства в регионе приводит к дисбалансу экологического состояния региона. Анализ полученных данных показал, что при любом направлении ветра, свойственном горно-долинной циркуляции, в долине всегда складываются условия, при которых возможен высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха вредным аэрозольным частицами и углекислыми газами.

Анализ данных по экологическому состоянию региона показал, что помимо ветрового режима циркуляция на процесс переноса и диффузии вредных мелкодисперсных аэрозольных частиц существенный роль играет изменение температурной инверсии, атмосферная осадка, влажность воздушной массы атмосферы и др., которые представлены в табл. 3.

Проведенные исследования на основе разработанных математического обеспечения процесса [9] показали, что одним из наиболее существенных метеорологических факторов, усиливающих загрязнение атмосферного воздуха, является температурная инверсия в нижней тропосфере, которая ослабляет турбулентное рассеивание и способствует накоплению вредных примесей, особенно, если устье находится ниже верхней границы инверсии.

На основе анализа данных (рис. 17-18) можно сделать вывод, что благоприятным условием для накопления и роста концентрация вредных веществ в атмосфере эта июнь-сентябрь месяцы, где происходит минимальное поглощение вредных веществ в атмосфере (коэффициента поглощения).

Таблица 3

Основные характеристики климатического режима Ангрен-Алмалык-Ахангаранского региона

Климатические Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Темпер. возд.	-2,0	0,4	6,7	13,2	18,5	23,0	26,4	24,5	19,4	12,4	6,0	1,4	12,6
Абсол. влажн. возд., мб.	4,2	4,6	6,0	8,4	10,7	10,9	10,7	9,7	7,5	6,6	5,2	4,5	7,4
Относит. влажн. возд. %	67,0	65,0	66,0	60,0	54,0	40,0	34,0	34,0	36,0	49,0	61,0	67,0	53,0
Атмос. осадки	55,0	53,0	82,0	68,0	36,0	14,0	5,0	4,0	5,0	29,0	46,0	59,0	45,6
Число дней с туманами	7,0	7,0	7,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	5,0	9,0	41,0
Число дней с призем. инвер.	16,0	16,0	5,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	12,0	25,0	85,0

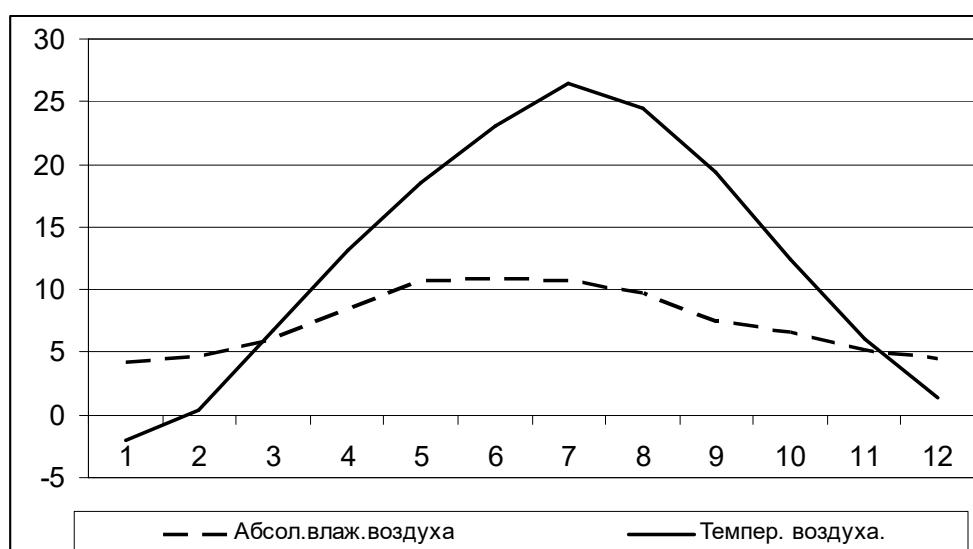


Рис. 17. Основные характеристики климатического режима Ангрен-Алмалык-Ахангаранского региона относительно абсолютной влажности и температуры воздуха

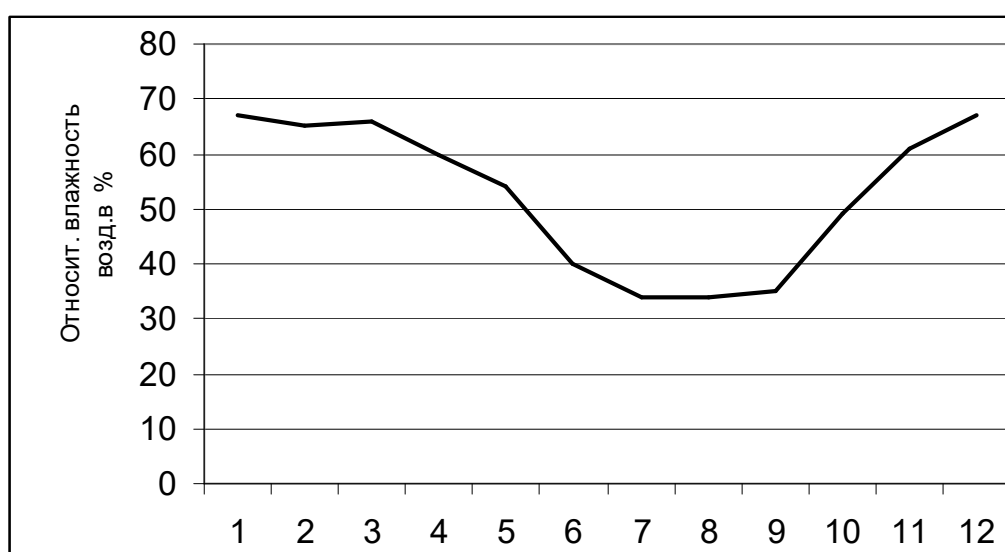


Рис. 18. Основные характеристики климатического режима Ангрен-Алмалык-Ахангаранского региона относительно влажности воздуха

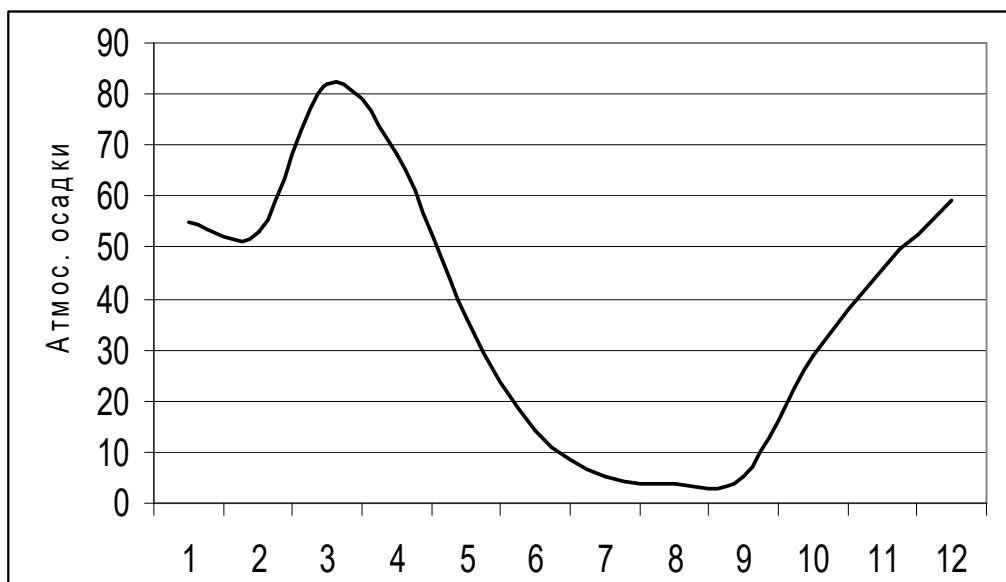


Рис. 19. Основные характеристики климатического режима Ангрэн-Алмалык-Ахангаранского региона относительно атмосферной осадки

Еще один из факторов, играющий существенную роль на процесс распространения вредных веществ в атмосфере, это - число дней с осадками, где происходит вымывание вредных частиц и углекислых газов, находящихся в атмосфере. Из кривых рис. 19 следует, что максимальное смывание аэрозольных частиц в атмосфере происходит от марта до первой половины май месяцев и от ноябрь до декабрь месяцев.

Надо отметить, что с определенной степенью достоверности можно утверждать, что в условиях Средней Азии уровень загрязнения атмосферы снижается на 30% в месяц с максимальным слоем атмосферных осадков. Исходя из этого, были получены ориентировочные данные по коэффициентам вымывания загрязняющих веществ атмосферными осадками, которая вычисляется следующей формулой:

$$k_i = \frac{x_i}{0.3x_{\max}}$$

где  $k_i$  - коэффициент вымывания вредных веществ атмосферными осадками в  $i$ -том месяце;  $x_i$  - слой атмосферных осадков за  $i$ -й месяц, в мм;  $x_{\max}$  - максимальное месячное значение слоя атмосферных осадков, в мм.

На рис. 20 приведен ход изменения коэффициента вымывания загрязняющих веществ атмосферными осадками.

Как следует из рис. 20, со второй половины май месяца и до второй половины сентябрь месяца значение коэффициента вымывания в 6-30 раз ниже максимального значения, и очищение атмосферного воздуха путем вымывания загрязнителя атмосферными осадками практически отсутствует. Максимальное вымывание загрязняющих веществ в атмосфере наблюдается с март месяца до первой половины май месяца. В среднем за год около 11-13 % вредных веществ смывается атмосферными осадками в регионе.

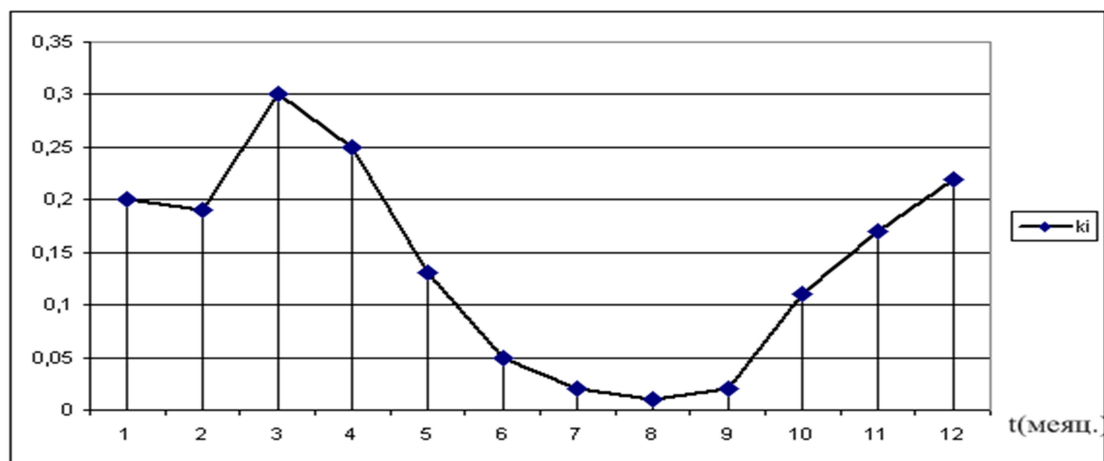


Рис. 20. Внутригодовое значение коэффициентов вымывания загрязняющих веществ атмосферными осадками

Этот фактор, в сочетании с высокими значениями динамического потенциала загрязнения атмосферного воздуха, оказывает влияние на формирование летнего максимума загрязнения.

Таким образом, как уже подчеркивалось выше, на территории Ахангаранского регионе практически в течение всего года господствуют метеорологические процессы, оказывающие отрицательное воздействие на рассеивание вредных примесей в атмосфере. Основными факторами, предопределяющими уровень загрязнения, являются маятниковый характер ветровой деятельности, частая повторяемость застойных явлений в приземном слое атмосферы, высокая повторяемость инверсий и низкий слой атмосферных осадков.

#### 4. Выводы

Проведенными численными расчетами были установлены, что на рассеивание аэрозольных частиц в атмосфере основное воздействие оказывают скорости воздушной массы атмосферы в приземном слое. На динамике изменения скорости ветра в нижних слоях поверхности земли существенно воздействует коэффициент шероховатости земли.

Вычислительным экспериментом установлено, что на скорости осаждения аэрозольных частиц

играет важную роль коэффициент турбулентности и она растет по вертикали по линейному закону, а к росту скорости ветра по вертикали существенно влияет температура воздушной массы атмосферы. С понижением температуры воздушной массы атмосферы экспоненциально растет скорость ветра по вертикали.

Максимальное накопление концентрации вредных веществ в атмосфере происходит в летнее время года, когда коэффициент вымывания вредных частиц стремится к нулю. Среднее годовое уменьшение концентрация вредных веществ на 11-13% происходит за счет атмосферные осадки в регионе.

Проведенные расчеты показали, что одним из наиболее существенных метеорологических факторов, усиливающих загрязнение атмосферного воздуха, является температурная инверсия в нижней тропосфере. Эта фактор ослабляет турбулентное рассеивание и способствует накоплению вредных примесей в атмосфере, особенно, если устье находится ниже верхней границы инверсии.

Из анализа данных установлено, что помимо ветрового режима циркуляция на процесс переноса и диффузии вредных мелкодисперсных аэрозольных частиц существенную роль играют температурная инверсия, атмосферная осадка и влажность воздушной массы атмосферы.

#### Литература

- [1] Пененко В.В., Рапутова В.Ф. Некоторые модели оптимизации режима работы источников загрязнения атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1985. – №2. – С. 59-67.
- [2] Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
- [3] Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме охраны окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
- [4] Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
- [5] Основы динамической метеорологии / Л.С. Гандин, Д.Л. Лайхтман, Л.Т. Матвеев, М.И. Юдин. – Л.: Гидрометеиздат, 1955. – 647 с.
- [6] Корнелюк С. Зависимость скорости ветра от высоты и местности. – <https://seiger.pp.ua/zavisimost-skorosti-vestra-ot-vysoty-i-mestnosti>.
- [7] Швень Н.І. Про приведення швидкості вітру до умов відкритого рівного місця // Відновлювана енергетика. – 2006. – №1. – С. 47-50.
- [8] Разработка математического обеспечения мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов : отчет о НИР / Н. Равшанов и др.; Институт математики АН РУз. – Ташкент, 2015. – № Гос. Рег. А-5-12. – С. 72 с.
- [9] Ravshanov N., Shertaev M., Toshtemirova N. Mathematical Model for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Modeling and Optimization. – 2015. – Vol. 3. – №2. – P. 35-39.
- [10] Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д. Моделирование процесса загрязнения окружающей среды с учетом рельефа местности и погодных-климатических факторов // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж, 2015. – №3. – С. 222-235.
- [11] Sharipov D.K. Development of mathematical software aerosol transport and diffusion of the atmospheric emissions // European Applied Sciences. – 2013. – Vol. 1. – №1. – P. 233-240.