



ЭКОЛОГИЯ

УДК 502.3:504.5.551.577.13:004.4242

О.Н. Блащинская, О.В. Горбунова,
Г.А. Забуга, В.С. Асламова, Л.Н. Сторожева

РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛЛЮТАНТА С ПОМОЩЬЮ БАРОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ БАРЬЕРА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Изучен характер изменения содержания диоксида серы в замкнутой среде при наличии на пути диффузии SO₂ растительного барьера.

Получены количественные оценки барометрической модели расчета его концентрации.

Ключевые слова: *поллютант, диоксид серы, барьер растительности, адсорбция, изменения концентрации, моделирование.*

O.N. Blashchinskaya, O.V. Gorbunova,
G.A. Zabuza, V.S. Aslamova, L.N. Storozheva

POLLUTANT CONCENTRATION CALCULATION BY MEANS OF THE BAROMETRIC MODEL TAKING INTO ACCOUNT PLANT BARRIER INFLUENCE

Nature of the sulphur dioxide availability change in closed environment with plant barrier on the SO₂ diffusion way is studied. Barometric model quantitative estimations for calculation of its concentration are received.

Key words: *pollutant, sulphur dioxide, plant barrier, adsorption, concentration change, modeling.*

Введение. Из источника выброса загрязняющее вещество попадает в сложно организованное пространство наземно-воздушной среды, компоненты которого обладают барьерными свойствами [3]. К числу важнейших барьеров относится растительный покров, на внешней границе которого в системе «лиственная пластинка – воздух» идут процессы сорбции поллютантов [1, 9–11], заканчивающиеся их поступлением внутрь листа и аккумуляцией в тканях растений. Однако барьерная роль растительности как фактора, изменяющего содержание загрязняющего вещества, не нашла должного отражения в моделях рассеяния и оседания поллютантов [4, 5]. *Цель работы* – изучить характер изменения содержания диоксида серы в замкнутой среде при наличии на пути диффузии SO₂ растительного барьера и использовать полученные количественные оценки в барометрической модели расчета его концентрации.

Объекты и методы исследований. Для изучения изменений содержания диоксида серы была выполнена серия опытов в стеклянных эксикаторах объемом около 7 л, герметично закрывающихся притертой крышкой с отверстием, через которое по окончании времени экспозиции шприцем брали пробу воздуха объемом 100 мл для анализа. Определение концентрации диоксида серы проводили по стандартной методике, измеряя оптическую плотность на ФЭК-56 при длине волны 400 нм [7]. Источником SO₂ служила химическая реакция сульфита натрия с серной кислотой [8]. Масса навески соли в опытах составляла 10 и 30 мг. На пути диффузии диоксида серы размещали побеги растений, которые крепили специальным образом внутри эксикатора. Срезанные побеги выдерживали не менее 1 ч, чтобы уменьшить влияние газообмена листьев на процессы сорбции поллютанта. Площадь листьев определяли весовым методом, хвои – через удельную линейную плотность [8]. Использовали облиственные побеги основных средообразующих древесных пород селитебной и санитарно-защитной зоны промышленных предприятий г. Ангарска (сосна, береза, тополь).

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлена схема проведения и наиболее типичный результат опытов с 10-минутной экспозицией. Концентрации SO₂ в воздухе эксикатора с растительным барьером на пути его диффузии (рис. 1, б, г) были достоверно ниже, чем в воздухе эксикатора без облиственных побегов (рис. 1, а, в). Подобное изменение концентрации диоксида серы было обусловлено барьерными свойствами внутреннего пространства эксикатора и находящегося в нем побега. Отношение количества поллютанта в воздухе (экспериментальная концентрация, ЭК) к общему его количеству, выделившемуся в результате реакции (теоретическая концентрация, ТК), характеризовали коэффициентом K_n . Разность «1 – K_n »

соответствовала доле SO_2 , которая была адсорбирована на поверхности его барьеров ($K_{адс}$). Влияние адсорбции поллютанта на изменение его концентрации (ΔC) оценивали формулой

$$\Delta C = C_i - C_j = C_i - K_{адс} \cdot C_i = C_i \cdot (1 - K_{адс}) = C_i \cdot K_h, \quad (1)$$

где C_i, C_j – концентрации поллютанта в воздухе с учетом и без учета растительного барьера соответственно.

По результатам опытов была рассчитана средняя величина коэффициента адсорбции ($K_{адс}$). В данной статье при апробации модели расчета концентрации поллютанта использовали величины коэффициента адсорбции, полученные в опытах эксперимента, представленного на рисунке 1, б, г.

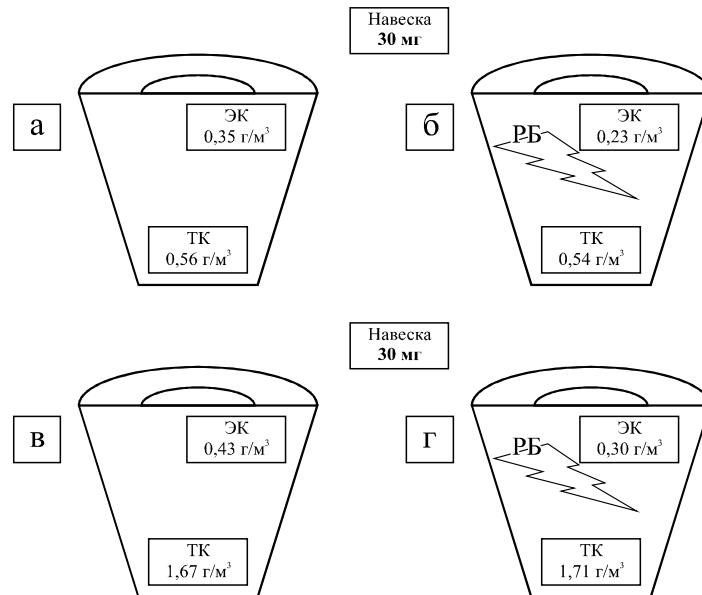


Рис. 1. Концентрация диоксида серы в воздухе эксикатора при отсутствии и наличии растительного барьера: ТК, ЭК – теоретическая и экспериментальная концентрация поллютанта. Теоретическая концентрация (ТК) рассчитана по уравнению химической реакции образования диоксида серы, экспериментальная концентрация (ЭК) определена по методике [7]; «Навеска 10 мг», «Навеска 30 мг» – навески сульфата натрия, которые были использованы для получения диоксида серы; РП – растительный побег

Повторность каждого из опытов «а – г» в одном эксперименте составляла 3. На рисунке приведены средние величины концентрации диоксида серы, ошибка среднего арифметического не превышала 10%. По схеме, представленной на рисунке, было проведено более 50 экспериментов.

При моделировании изменений концентрации диоксида серы с учетом растительной поверхности на пути его диффузии использовали схему, показанную на рисунке 2. При этом было принято, что массоперенос поллютанта осуществлялся по оси «Z». Зависимость концентрации газа (n_z) от высоты (Z) определялась по барометрической интегральной формуле для неизотермических условий [5] с учетом местных особенностей температурной стратификации атмосферы, обусловленной теплоотдачей промышленной зоны урбанизированной территории [2]:

$$\ln n_z = \ln n_o - (m \cdot g/k) \int_0^z dz / T, \quad (2)$$

где n_o – концентрация молекул поллютанта при Z_o ;
 g – гравитационная постоянная;
 k – константа Больцмана;
 m – масса частиц газа.

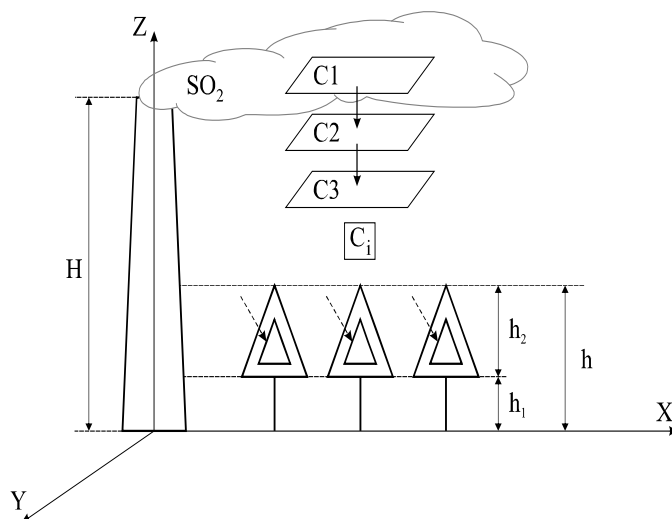


Рис. 2. Схема изменения концентрации загрязнителя, попавшего с выбросом в атмосферу: C_i – концентрации загрязняющих веществ; H – высота источника; h – высота пространства, занятого барьером растительности; h_1 – высота приземного слоя; $h_2 = h - h_1$ – высота слоя адсорбции загрязнителей (кроны деревьев); сплошные стрелки показывают направление изменения концентрации загрязнителя, а пунктирные – «слой адсорбции» загрязнителя

При рассеивании в атмосфере и оседании в направлении земли на поверхностях пространства загрязнитель соприкасается со слоем растительности h_2 (см. рис. 2). При движении загрязнителя через этот слой часть его сорбируется листовой поверхностью, это изменяет его концентрацию. Принимали, что до отметки « h » (см. рис. 2) концентрация загрязнителя изменялась по барометрической зависимости, но на отрезке высоты « h_2 » помимо барометрического фактора вступил в действие «барьерный» фактор, вносящий изменения в концентрацию загрязнителя в соответствии с выражением, представленным формулой (1).

Для расчета концентрации диоксида серы по барометрической модели использовали блок-схему, представленную на рисунке 3. Программа написана в среде Borland Delphi. При расчете концентрации диоксида серы по барометрической модели местоположение барьера растительности отнесли к отметкам высоты 10–20 м. Результаты расчетов изменения концентрации SO_2 с высотой с помощью барометрической модели даны в таблице.

Результаты расчета концентрации диоксида серы с помощью неизотермической барометрической модели без учета и с учетом адсорбции растительным барьером

N	Отметки высоты, м	Температура воздуха, К	Концентрация, кг/м ³		Концентрация, кг/м ³	
			без учета $K_{адс}$	с учетом $K_{адс}$	без учета $K_{адс}$	с учетом $K_{адс}$
			Вариант 1		Вариант 2	
1	1,1000000000E+02	-1,2088575000E+03	5,5870463813E-04	5,5870463813E-04	1,6162527032E-03	1,6162527032E-03
2	1,0000000000E+02	-2,7107150000E+03	5,5867706291E-04	5,5867706291E-04	1,6161729320E-03	1,6161729320E-03
3	9,0000000000E+01	-4,2125725000E+03	5,5864648684E-04	5,5864648684E-04	1,6160844798E-03	1,6160844798E-03
4	8,0000000000E+01	-5,7144300000E+03	5,5861217574E-04	5,5861217574E-04	1,6159852227E-03	1,6159852227E-03
5	7,0000000000E+01	-7,2162875000E+03	5,5857308784E-04	5,5857308784E-04	1,6158721470E-03	1,6158721470E-03
6	6,0000000000E+01	-8,7181450000E+03	5,5852767361E-04	5,5852767361E-04	1,6157407701E-03	1,6157407701E-03
7	5,0000000000E+01	-1,0220002500E+04	5,5847348036E-04	5,5847348036E-04	1,6155839968E-03	1,6155839968E-03
8	4,0000000000E+01	-1,1721860000E+04	5,5840627667E-04	5,5840627667E-04	1,6153895861E-03	1,6153895861E-03
9	3,0000000000E+01	-1,3223717500E+04	5,5831776476E-04	5,5831776476E-04	1,6151335338E-03	1,6151335338E-03
10	2,0000000000E+01	-1,4725575000E+04	5,5818778143E-04	3,2039978654E-04	1,6147575106E-03	1,3321749462E-03
11	1,0000000000E+01	-1,6227432500E+04	5,5793861529E-04	3,2025676517E-04	1,6140367085E-03	1,3315802845E-03

Примечания: N – номер расчетной точки на отметке высоты; вариант 1, вариант 2 – соответствуют вариантам опытов с навесками соли, используемой в реакции выделения диоксида серы, равными 10 и 30 мг соответственно.

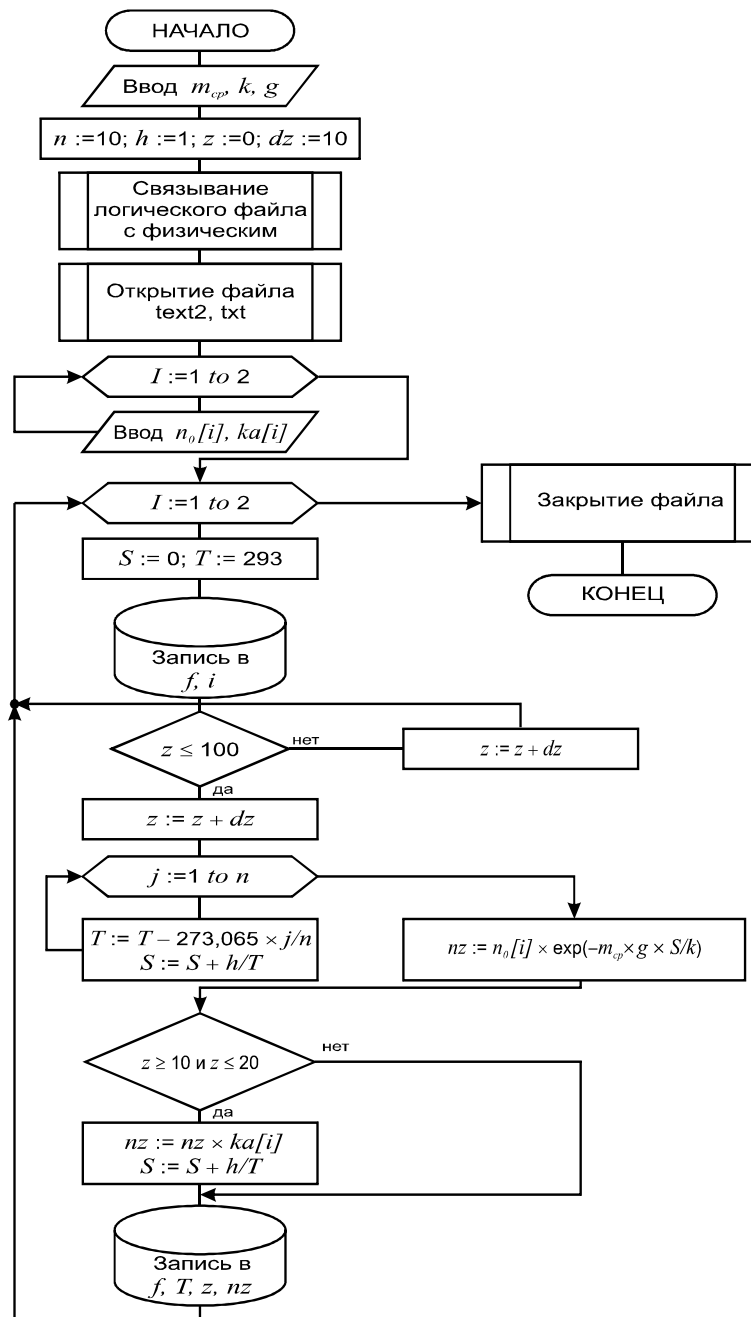


Рис. 3. Блок-схема расчета концентрации диоксида серы

Следует отметить, что они в значительной мере отражают изменения концентрации загрязнителя при неблагоприятных метеорологических условиях (НМУ), поскольку барометрическая модель не рассматривает рассеивание факела выброса, которое описывается соответствующими дисперсиями, меняющимися, в том числе и в зависимости от скорости движения воздушных масс [3].

Выводы

1. Экспериментально показано, что облиственные побеги древесных растений, размещаемые на пути диффузии загрязнителя SO_2 , выделяющегося при химическом взаимодействии сульфита натрия и концентрированной серной кислоты, уменьшали его концентрацию в воздухе герметичного стеклянного эксикатора при 10-минутной экспозиции опыта. При низком парциальном давлении загрязнителя в условиях опыта с на-

веской соли массой 10 мг величина коэффициента адсорбции ($K_{адс}$) оказалась меньше, чем при более высоком парциальном давлении диоксида серы в условиях опыта с навеской 30 мг.

2. С использованием $K_{адс}$ в барометрической модели получили результаты расчета концентрации SO_2 с помощью программы, написанной в среде Borland Delphi. По-видимому, барометрическая модель может служить инструментом для описания изменений концентрации поллютантов не только за счет сорбционных процессов, но и других механизмов.

3. Адсорбция поллютантов барьерами пространства, в которое они попадают с выбросом, снижает их концентрацию, что особенно важно на отметках высот, соответствующих пространству жизнедеятельности человека. Поэтому абсорбция поллютантов, по-видимому, может быть отнесена к числу факторов, способствующих поддержанию качества окружающей среды урбанизированных территорий.

Литература

1. Бенз(а)пирен в листьях деревьев-озеленителей территории города Иркутска / Л.Н. Белых [и др.] // Мат-лы 3-й межрегион. науч.-практ. конф. – Братск, 2008. – С. 325–326.
2. Воробьев Е.И., Прусаков В.М., Душутин К.К. Охрана атмосферы и нефтехимия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 232 с.
3. Голованов А.И., Зимин Ф.М., Козлов Д.В. Природообустройство: учеб. – М.: Колос, 2008. – 552 с.
4. Замышляев Б.В. Влияние начальных размеров выброса (истечения) невесомой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении облака гауссова типа // Проблемы безопасности и ЧС. – 2004. – №4. – С. 35–42.
5. Инженерная защита окружающей среды: учеб. пособие / под ред. О.Г. Воробьева. – СПб.: Лань, 2002. – 288 с.
6. Петровская В.Н. Кинетическое моделирование процессов в атмосфере // Винеровские чтения: тр. IV Всерос. конф. – Ч. III. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 150–156.
7. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – С. 84–87.
8. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
9. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. – М.: Наука, 2002. – 191 с.
10. Чубарова Н.Е., Ларин И.К., Лезина Е.А. Экспериментальное и модельное исследование вариаций содержания диоксида азота в пограничном слое атмосферы в Москве // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2010. – №2. – С. 11–18.
11. Скрипальщикова Л.Н., Грешилова Н.В. Сосновые древостои в техногенных ландшафтах // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – №1–3. – С. 150–153.

