

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Н.А. Самолетова, Г.Н. Соколова

НАУКИ О ЗЕМЛЕ. ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие
для практических работ

Ростов-на-Дону
2017

УДК 504(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Т.А. Финоченко

Самолетова, Н.А.

Науки о Земле. Практикум. Учебно-методическое пособие для практических работ / Н.А. Самолетова, Г.Н. Соколова; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 32 с.: ил.

Содержится тематический набор типовых задач по усвоению теоретического курса «Науки о Земле», предполагающего получение основных знаний о нашей планете, без которых в настоящее время трудно оценивать и прогнозировать состояние окружающей среды. Пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Науки о Земле» с целью освоения студентами теоретических основ дисциплины.

Предназначено для студентов очной формы обучения по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Одобрено к изданию кафедрой «Безопасность жизнедеятельности».

Учебное издание

Самолетова Наталья Алексеевна
Соколова Галина Николаевна

НАУКИ О ЗЕМЛЕ. ПРАКТИКУМ

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 21.11.17. Формат 60 84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,86.
Тираж экз. Изд. № 9059. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.

© Самолетова Н.А., Соколова Г.Н., 2017
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Практическая работа № 1. Тепловой режим почв и водоемов	5
2 Практическая работа № 2. Воздух и атмосфера	12
3 Практическая работа № 3. Радиация в атмосфере	16
4 Практическая работа № 4. Потенциал загрязнения атмосферы	20

ВВЕДЕНИЕ

Люди всегда испытывали любопытство по отношению к окружающему их миру – не в последнюю очередь потому, что выживание человека часто зависело от его способности прогнозировать развитие той или иной ситуации. Фермеры давным-давно выработали систему знаний о погоде и климате, позволявшую им получать хорошие урожаи, охотники изучили повадки своей добычи, а моряки научились находить в море и на небе признаки надвигающихся штормов. Но особые приемы и методики, совокупность которых мы называем наукой, появились лишь несколько сотен лет назад.

Науки о Земле – комплекс наук, изучающих Землю, ее геосферы, их природные свойства, население и результаты его хозяйственной деятельности. В число наук о Земле входят естественные науки: геология, физическая география и др.; и общественные науки: география населения, экономическая география и др. Науки о Земле охватывают науки, занимающиеся изучением планеты Земля (литосферы, гидросферы и атмосферы), а также космического пространства вокруг Земли. Любая из наук о Земле делится на общую и региональную. Общая наука изучает закономерности, присущие всем объектам, изучаемым этой наукой, а региональная – особенности этих объектов на какой-либо определенной территории.

Предметом изучения дисциплины «Науки о Земле» является исследование взаимосвязи геосфер как единого целого планеты Земля. Цель цикла дисциплин «Науки о Земле» – целостное и системное изучение строения, функционирования и развития Земли, а комплексная оценка и рациональное использование ее ресурсов как важнейшее условие устойчивого существования человека на Земле. Предлагаемое издание рассчитано, прежде всего, на бакалавров направления подготовки «Техносферная безопасность». В данном издании впервые принята попытка создать тематический набор типовых задач по усвоению теоретического курса «Науки о Земле».

Целью изучения данной дисциплины будущими бакалаврами направления подготовки «Техносферная безопасность» является получение основополагающих знаний о нашей планете, без которых в настоящее время трудно оценивать и прогнозировать состояние погоды, глобальные экологические проблемы на планете. Воздействие человека на окружающую среду давно вышло за границы отдельных регионов и носит в настоящее время планетарный (глобальный) характер. Поэтому знания об основных законах и особенностях функционирования и взаимодействия геосфер позволят увидеть деятельность людей в новом свете, заметно расширить мировоззрение.

Практическая работа № 1

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОЧВ И ВОДОЕМОВ

Цель работы – углубить понимание физической сущности законов, лежащих в основе теплового режима почв и водоемов путем применения основных формул расчета температурных параметров.

1 Тепловые свойства воды и почвы

К тепловым свойствам воды и почвы относятся теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность почвы и распространение тепла вглубь почвы и воды.

1.1 Теплоемкость

Теплоемкостью называется количество тепла, необходимое для нагревания единицы вещества на 1 °С.

Для измерения тепловых величин в качестве предпочтительной установлена Международная система единиц СИ, но допускаются и до сих пор часто используются внесистемные единицы измерения тепловых величин, основанные на калории.

Если за единицу вещества принимается 1 см³, то теплоемкость называется объемной (кал/см³·град или Дж/м³·град), если за единицу берется 1 г вещества – то теплоемкость называется удельной (кал/г·град или Дж/кг·град). Зависимость между ними выражается формулой

$$C = c \cdot d, \quad (1.1)$$

где C – объемная теплоемкость, c – удельная теплоемкость, d – плотность вещества.

Для перехода к единицам системы СИ пользуются соотношением:

$$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж.}$$

$$1 \text{ кал/см}^3 \cdot \text{град} = 4,1868 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{град}$$

$$1 \text{ кал/г} \cdot \text{град} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град.}$$

В практических работах большей частью пользуются объемной теплоемкостью.

Объемная теплоемкость влажной почвы (C_n , кал/см³·град) определяется по объемному весу почвы, ее удельной теплоемкости и влажности:

$$C_n = c_n \cdot q + c_v \cdot q \cdot W, \quad (1.2)$$

где c_n – удельная теплоемкость сухой почвы, c_v – удельная теплоемкость почвенной влаги, q – объемный вес (плотность) сухой почвы, W – влажность в долях единицы.

1.2 Теплопроводность и температуропроводность почвы

Мерой теплопроводности почвы служит коэффициент теплопроводности λ , численно равный количеству тепла, протекающему в 1 секунду через 1 см² слоя данного вещества толщиной 1 см при разности температур на границах слоя 1 °С. Размерность коэффициента теплопроводности кал/см²·с·град.

Для характеристики тепловых свойств почвы и воды пользуются также коэффициентом температуропроводности K . Он численно равен тому повышению температуры, которое наблюдается при сообщении 1 см³ почвы λ кал тепла. Коэффициент температуропроводности (K , см²/с) выражается через теплопроводность λ и теплоемкость C :

$$K = \frac{\lambda}{C}. \quad (1.3)$$

Коэффициент температуропроводности (K , см²/с) можно также вычислить по убыванию амплитуды с глубиной по формуле:

$$K = \frac{\pi z^2}{\theta (\ln A_0 - \ln A_z)^2}, \quad (1.4)$$

где A_0 – амплитуда колебаний температуры на поверхности почвы, A_z – амплитуда колебаний на глубине почвы, θ – период колебания температуры (сутки, год), выраженный в секундах, z – глубина слоя в см.

В практике работы гидрометеорологических станций вычисление коэффициента K , см²/час производится каждую пятидневку по формуле:

$$K = \frac{M}{N} = \frac{26.67 (r_0 \Delta t_0 + r_1 \Delta t_5 + r_2 \Delta t_{10} + r_3 \Delta t_{15} + r_4 \Delta t_{20})}{6(0.5 D_7 + D_{10} + D_{13} + D_{16} + 0.5 D_{19})}, \quad (1.5)$$

где M и N величины, рассчитываемые аналитическим путем по результатам наблюдений, $\Delta t_0, \Delta t_5, \Delta t_{10}$ и т. д. – разности между средними температурами в 19 и 7 часов на поверхности почвы и глубинах 5, 10, 15, 20 см; r_0 – r_4 – коэффициенты, значения которых равны:

$$r_0 = 0,06; \quad r_1 = 1,0; \quad r_2 = 1,62; \quad r_3 = 1,0; \quad r_4 = 0,06.$$

Величины D , характеризующие распределение температуры почвы по глубинам в данный срок, вычисляются по формуле

$$D = \frac{t_0 + t_{20}}{2} - t_{10}. \quad (1.6)$$

1.3 Распространение тепла вглубь почвы и воды

Величина потока тепла вглубь деятельного слоя зависит от градиента температуры и теплопроводности почвы и может быть рассчитана по формуле:

$$Q = -\lambda \frac{t_2 - t_1}{z_2 - z_1} \theta = -CK \frac{t_2 - t_1}{z_2 - z_1} \theta, \quad (1.7)$$

где Q – поток тепла (в Дж/см² или кал/см², 1 кал/см² = 4,18 Дж/см²), t_2 и t_1 – температуры почвы в градусах на глубинах z_2 и z_1 (в см) соответственно, θ – интервал времени (с); λ – коэффициент теплопроводности (кал/см·град·с); K – коэффициент температуропроводности (см²/с); C – объемная теплоемкость (кал/см³·град).

На метеостанциях, ведущих градиентные наблюдения, средний поток тепла в почве (Q , кал/см²·мин) за интервал времени θ между двумя соседними сроками рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{C}{\theta} s_1, \quad (1.8)$$

где C – объемная теплоемкость, θ – интервал времени, для которого находится средний поток, в минутах, s_1 – величина, характеризующая изменение температуры в верхнем 20-см слое почвы. Значение s_1 находится по формуле

$$s_1 = 20 (0,820\Delta t_0 + 0,333 \Delta t_5 + 0,175\Delta t_{10} + 0,156\Delta t_{15} + 0,0040\Delta t_{20}). \quad (1.9)$$

Величины Δt представляют собой разности между соответствующими значениями температуры почвы в последующий и предыдущий сроки наблюдений (например, Δt_0 – разность между температурой поверхности почвы в 10 и 7 часов, Δt_5 – то же для глубины 5 см и т. д.)

1.4 Турбулентный обмен теплом между почвой и воздухом

Расчет турбулентного потока тепла от почвы в воздух производится по методу теплового баланса и методу турбулентной диффузии.

По методу теплового баланса теплообмен V , кал/см²·мин определяется по формуле:

$$V = \frac{(B - P)\Delta t}{\Delta t + 1,56 \Delta e}, \quad (1.10)$$

где B – радиационный баланс, кал/см²·мин, P – поток тепла в почву, кал/см²·мин, Δt и Δe – разности температур и упругости водяного пара на высотах 0,5 и 2 м.

По методу турбулентной диффузии теплообмен определяется по формуле:

$$V = 1,35 k \Delta t \quad (1.11)$$

где k – коэффициент турбулентности на высоте 1 м.

Если $(B - P) \geq 0,10$ кал/см²·мин, $\Delta t \geq 0,1$ °С, $\Delta e \geq 0,1$ гПа, то пользуются формулой (1.10), если же $(B - P) < 0,10$ кал/см²·мин, то вычисления ведут по формуле (1.11). Коэффициент турбулентности (k , м²/с) в этом случае вычисляют по формуле

$$k = 0.104 \cdot \Delta u \left(1 + 1.38 \frac{\Delta t}{(\Delta u)^2} \right), \quad (1.12)$$

где Δu – разность скоростей ветра на высотах 2,0 и 0,5 м.

1.5 Суточный ход температуры почвы

Суточный ход температуры наглядно представляют в виде графика. Для этого в определенном масштабе по горизонтальной оси откладывают единицы времени, по вертикальной оси – величины температуры в градусах.

Другим и более наглядным изображением суточного (сезонного, годового) хода температуры почвы являются термоизоплеты – линии равной температуры почвы на различных глубинах в течение суток (сезона, года).

По горизонтальной оси откладывают время от 1 до 24 час, по вертикальной – глубины от максимума до 0 см, в точках пересечения координат наносятся температуры почвы на данной глубине в определенный срок наблюдения. Затем полученное поле температуры почвы расчерчивают линиями их равных значений – термоизоплетами.

1.6 Задания для выполнения практической работы

Задание 1

1.1 Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 1.1. Определить, пользуясь формулой (1.2), объемную теплоемкость почвы при значениях относительной влажности воздуха 20 %, 50 %, 70 %.

Удельная теплоемкость воды $c_v = 1$ кал/г·град.

Таблица 1.1 – Объемный вес и удельная теплоемкость почвы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объемный вес сухой почвы, q (г/см ³)	0,94	1,12	1,17	1,23	1,72	1,37	1,51	1,62	1,66	1,72
Удельная теплоемкость почвы, c_n (кал/г·град)	0,261	0,200	0,184	0,156	0,194	0,178	0,180	0,197	0,192	0,199

1.2 Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 1.2. Определить, пользуясь формулами (1.5) и (1.6), значение коэффициента температуропроводности K .

Таблица 1.2 – Исходные данные для расчета

Вар-т	Сроки	Глубина, см
-------	-------	-------------

	набл., ч	0	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7
1	07	20,2	15,8	16,7	18,2	18,5
	10	23,1	19,4	17,6	19,0	18,4
	13	26,4	20,3	19,1	19,5	18,5
	16	22,6	21,4	20,2	19,2	18,7
	19	18,1	19,5	20,1	19,3	19,2
2	07	18,4	18,2	18,9	18,7	19,0
	10	34,0	25,5	21,4	22,8	19,1
	13	38,4	28,0	24,8	24,7	20,2
	16	34,4	29,2	25,2	22,7	22,4
	19	20,8	23,8	23,6	22,9	22,1
3	07	20,0	15,6	16,5	18,0	18,3
	10	22,9	19,2	17,4	18,8	18,2
	13	26,2	20,1	18,9	19,3	18,3
	16	22,4	21,2	20,0	19,0	18,5
	19	17,9	19,3	19,9	19,1	19,0
4	07	17,4	17,1	17,8	17,6	18,0
	10	32,0	23,3	19,2	20,5	17,6
	13	36,4	26,0	22,8	22,7	18,2
	16	32,2	27,1	23,0	20,5	20,2
	19	19,5	22,5	22,1	21,6	20,8
5	07	16,5	14,0	13,6	14,5	13,2
	10	19,2	16,2	13,8	14,2	13,1
	13	20,5	16,4	14,1	13,6	13,4
	16	28,9	22,1	18,3	16,5	15,8
	19	26,4	20,3	17,6	17,0	16,7
6	07	21,2	16,7	17,9	19,4	19,7
	10	24,3	20,6	18,8	20,2	19,6
	13	28,7	22,6	21,4	21,8	20,8
	16	24,9	23,7	22,5	21,5	20,9
	19	20,3	21,7	22,3	21,6	21,5
7	07	19,2	14,8	15,7	17,2	17,5
	10	22,1	18,4	16,6	18,0	17,4
	13	25,4	19,3	18,1	18,5	17,5
	16	21,6	20,4	19,2	18,2	17,2
	19	17,1	18,5	19,1	18,3	18,2
8	07	20,4	20,2	20,9	20,7	21,0
	10	36,0	27,5	23,4	24,8	21,1
	13	40,5	30,0	26,8	26,7	22,1
	16	36,5	31,2	27,2	24,7	24,4

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7
	19	23,1	25,1	25,6	24,9	24,1
9	07	17,2	12,8	13,7	15,2	15,5
	10	20,1	16,4	14,6	16,0	15,4
	13	23,4	17,3	16,1	16,5	15,5
	16	19,6	18,4	17,2	16,2	15,7
	19	15,1	16,5	17,1	16,3	16,2
10	07	10,5	8,0	7,6	8,5	7,2
	10	13,2	10,2	7,8	8,2	7,1
	13	14,5	10,6	8,1	7,6	7,4
	16	22,9	16,1	12,3	10,5	9,8
	19	20,4	14,3	11,6	11,0	10,7

1.3 Определить по формуле (1.3) значение коэффициента теплопроводности λ при относительной влажности воздуха 20%.

Примечание: обратить внимание на размерность величин, входящих в формулы (1.4) и (1.5).

Задание 2

Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 1.2.

2.1 Вычислить по формулам (1.8) и (1.9) поток тепла в почву за интервал времени от 7 до 10 часов, используя значение объемной теплоемкости C при относительной влажности воздуха 20 %, рассчитанное в задании 1.1.

2.2 Определить по формуле (1.7) поток тепла за 1 мин от поверхности вглубь почвы в слое 0–20 см в 16 часов.

Задание 3

Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 1.3. Определить теплообмен по формулам (1.10) или (1.11), (1.12).

Таблица 1.3 – Исходные данные для расчета

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Радиационный баланс (В), <i>кал/см²·мин</i>	0,40	0,67	0,13	0,48	0,38	0,15	0,57	0,48	0,18	0,35
Тепловой. поток (Р), <i>кал/см²·мин</i>	0,03	0,08	0,04	0,06	0,08	0,06	0,07	0,03	0,09	0,07
$t_{\infty 0,5}$	21,6	19,3	20,1	14,8	26,6	17,5	18,9	19,6	20,4	15,9
$t_{\infty 2}$	19,0	19,0	20,0	14,6	26,5	17,0	18,0	18,9	20,0	14,8

Окончание табл. 1.3

$e_{0,5}$ гПа	14,0	14,9		13,2	14,3		12,9	13,1		14,5
e_2 гПа	13,2	14,2		12,4	13,8		12,0	12,2		14,0
Δu , м/с			0,7			0,9			0,8	

Задание 4

Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 1.2.

4.1 Построить график полусуточного хода температуры почвы на поверхности и глубинах 5, 10, 15, 20 см.

4.2 Построить термоизоплеты почвы через 2 °С.

4.3 Сделать вывод по работе.

Практическая работа № 2

ВОЗДУХ И АТМОСФЕРА

Цель работы – углубить понимание физической сущности атмосферных процессов путем применения некоторых основных формул расчета метеорологических параметров.

1 Атмосферное давление и плотность воздуха

1.1 За нормальное атмосферное давление принимают такое давление, которое равно давлению ртутного столба высотой 760 мм при температуре 0°C на широте 45° и на уровне моря на площадь 1см².

Единицей давления служит паскаль (Па). 1 Па = 1 Н/м².

В настоящее время для измерения величины атмосферного давления принята международная единица – гектопаскаль (гПа): 1 гПа = 10² Па.

Соотношение между единицами давления:

1 мм рт. ст. = 1,33 гПа;

1 гПа = 0,75 мм рт. ст.

1000 гПа = 100 000 Па.

Нормальное атмосферное давление равно 1013,25 гПа.

1.2 Плотность воздуха зависит от его температуры и давления. Для сухого воздуха связь между ними выражается уравнением состояния газов:

$$pv = R_d T, \quad (2.1)$$

где p – давление, v – удельный объем газа (величина, обратная плотности), T – температура по абсолютной шкале, R_d – газовая постоянная для сухого воздуха, равная 287 Дж/кг·град. Подставим в уравнение вместо v величину $1/\rho$, тогда формула примет вид:

$$p/\rho = R_d T, \quad (2.2)$$

где ρ – плотность сухого воздуха.

Отсюда плотность сухого воздуха ρ_d

$$\rho_d = P / R_d T. \quad (2.3)$$

Плотность влажного воздуха можно определить по формуле

$$\rho_w = \rho_d (1 - 0.378 e/p), \quad (2.4)$$

где e – упругость водяного пара.

1.3 Барической ступенью h' называется высота, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на 1 гПа.

$$h' = - dz/dp = RT/gp. \quad (2.5)$$

На практике для вычислений формулу упрощают, приводя ее к виду:

$$h' = (H_0/p) (1+\alpha t), \quad (2.6)$$

где H_0 – высота однородной атмосферы ($\sim 8000\text{м}$), t – температура в $^{\circ}\text{C}$; α – коэффициент теплового расширения газов, приближенно равный 0,004; p – давление в гПа.

Формулу (2.6) можно использовать для приведения давления к уровню моря. Для этого с помощью формулы (2.6) определяют величину барической ступени по исходным значениям давления и температуры на уровне станции, затем по ней – приближенную величину давления на уровне моря.

Примечание: Для более точного определения давления на уровне моря используют среднее давление и среднюю температуру воображаемого столба воздуха между уровнем станции и уровнем моря.

При этом среднее давление определяют как среднее арифметическое между исходным давлением на уровне станции и вычисленным приближенным давлением на уровне моря:

$$p_{\text{ср}} = (p_0 + p^{\text{ср}}) / 2. \quad (2.7)$$

Среднюю температуру определяют, используя вертикальный градиент температуры, равный $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. Так, если станция имеет высоту 200 м и температура на ней 16° , то для уровня моря принимается температура $17,2^{\circ}$, а средняя температура воображаемого воздушного столба будет $16,6^{\circ}\text{C}$.

Затем, подставляя в формулу (2.6) найденные значения среднего давления и температуры, определяют окончательное значение давления на уровне моря.

Задание 2.1

Пользуясь данными из таблицы 2.1, перевести атмосферное давление из мм рт. ст. в гПа.

Таблица 2.1 – Атмосферное давление

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , мм рт. ст.	578	663	778	760	413	520	450	268	324	675

Задание 2.2

Пользуясь формулами (2.3), (2.4) и данными из таблицы 2.2, определить для пункта наблюдений с атмосферным давлением, равным 1000 гПа

- плотность сухого воздуха;
- плотность влажного воздуха.
- разность $\Delta \rho$ плотностей сухого и влажного воздуха.

Таблица 2.2 – Исходные данные для определения плотности воздуха

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t^{\circ}\text{C}$	-20	+3	0	-5	-12	+5	+20	+30	+25	+10
e (гПа)	0,5	5,5	4,0	1,5	2,0	8,0	11,5	24,0	16,0	12,0

Примечания:

- при выполнении задания учесть, что $1000\text{ гПа} = 100\,000\text{ Па}$;
- вычисления производить с точностью до 4 знака после запятой.

Задание 2.3

Определить приближенное давление на уровне моря, пользуясь формулой (2.6) и данными из таблицы 2.3. Ответ округлить до десятых.

Таблица 2.3 – Исходные данные для определения давления на уровне моря

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p (гПа)	950	960	1015	925	1005	970	1010	1000	980	995
z (м)	575	498	34	679	83	513	150	196	250	135
t° C	8	3	0	15	12	5	20	30	25	10

2 Температура воздуха

2.1 Для анализа теплового режима атмосферы широко применяются графики суточного и годового хода температуры воздуха по многолетним данным. При построении таких графиков на горизонтальной оси откладывают время, а на вертикальной – значения температуры.

Годовую амплитуду определяют как разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяца года.

Суточную амплитуду определяют как разность между максимальным и минимальным значениями температуры в течение суток.

2.2. Вертикальный градиент температуры воздуха характеризует распределение температуры с высотой, т. е. изменение температуры в атмосфере на единицу высоты, обычно на 100 м. и равен

$$\gamma = -dT/dz.$$

В нижних 10 км умеренных широт он в среднем равен 0,6 °C/100м.

Задание 2.4

а) Пользуясь данными таблицы 2.4, построить график годового хода температуры воздуха

Таблица 2.4 – Средняя температура месяцев

Вариант	Средняя температура месяцев, °C											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	21,8	21,8	+22,0	+22,8	+23,8	+24,8	+25,4	+25,8	+25,7	+25,1	+23,7	+22,6
2	+23	+22	+20	+17	+14	+11	+10	+11	+13	+15	+18	+21
3	25,8	25,8	26,2	26,7	26,8	26,5	26,3	26,5	26,8	26,8	26,5	26,1
4	+24	+28	+33	+35	+32	+28	+27	+28	+27	+28	+23	+21
5	-21	-18	-10	+1	+8	+15	+19	+15	+6	-8	-29	-40
6	-16	-18	-20	-14	-5	+2	+5	+5	0	-6	-11	-14
7	+9	+12	+16	+22	+28	+32	+35	+35	+32	+25	+18	+11
8	-34	-44	-55	-63	-63	-67	-67	-71	-67	-59	-44	-32
9	-5,7	-4,8	0,6	9,4	16,2	20,2	23,0	22,1	16,3	9,2	2,5	-2,6
10	-16	-17	-5,6	4,2	12,2	16,5	19,0	19,1	13,0	3,6	-4,7	-9,0

б) Вычислить средние годовые температуры и годовые амплитуды колебания температуры.

Задание 2.5

Пользуясь данными таблицы 2.5, привести температуру воздуха к уровню моря при вертикальном температурном градиенте, равном $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{м}$.

Таблица 2.5 – Исходные данные для определения температуры воздуха на уровне моря

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t^{\circ}\text{C}$	6,9	7,6	10,6	2,4	2,2	+5,0	+20	+30	+25	+10
z, м	575	498	34	679	83	513	150	196	250	135

Практическая работа № 3

РАДИАЦИЯ В АТМОСФЕРЕ

Цель практической работы – углубить понимание физической сущности радиационных процессов в атмосфере путем применения основных формул расчета параметров солнечной радиации.

3.1 Общие сведения

Основным климатообразующим фактором является солнечная радиация. От угла падения солнечных лучей на земную поверхность зависит степень нагревания ее и продолжительность дня и ночи.

В полдень самого продолжительного дня – 22 июня – солнце стоит высоко над горизонтом. Поверхность земли в этот день получает тепла больше, чем отдает. Иное дело зимой. 22 декабря солнце стоит так низко, что его лучи касаются земли почти полого. Земля даже в полдень отдает тепла больше, чем получает. В годовом ходе максимум продолжительности солнечного сияния приходится на лето, минимум на зиму. Средняя продолжительность солнечного сияния за год в Ростовской области составляет 1776 ч. В отдельные годы продолжительность солнечного сияния может заметно отличаться от средней многолетней величины.

Продолжительность солнечного сияния зависит от облачности, поэтому иногда ее упорядоченный годовой ход нарушается. Получение земной поверхностью тепла от солнца заметно снижается в период значительной облачности, а также сильного отражения солнечных лучей снежным покровом (особенно в марте, когда солнце уже довольно высоко поднимается над горизонтом).

Облачность не только загромождает от нас солнце. Зимой и летом (ночами) она задерживает излучаемое землей тепло, снижает ее охлаждение. Вот почему весной в облачную погоду не бывает заморозков, а зимой наиболее сильные морозы связаны с ясным безоблачным небом.

За последнее время требования к материалам о режиме лучистой энергии Солнца значительно возросли. В настоящее время суммарную солнечную радиацию регистрируют свыше 700 станций. Однако данных наблюдений актинометрической сети для построения детальных карт радиации пока еще недостаточно. Поэтому при построении карт, наряду с данными наблюдений, используют величины суммарной радиации, найденные расчетным методом.

Для построения карт радиационного баланса подстилающей поверхности Земли использовался расчетный метод, который позволяет определить составляющие радиационного баланса по основным метеорологическим элементам (облачности, температуре и влажности воздуха, характеристикам снежного покрова и др.), измеряемыми на сети метеорологических станций во всех странах.

3.2 Законы излучения

3.2.1 Закон Стефана – Больцмана

Излучательная способность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры:

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (3.1)$$

где ε – количество энергии, излучаемое единицей поверхности абсолютно черного тела в единицу времени, Вт/м², T – абсолютная температура поверхности, σ – коэффициент пропорциональности, постоянная Стефана-Больцмана, в системе СИ $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·град⁴).

3.2.2 Закон Вина

Произведение длины волны λ_m , которой соответствует максимальная излучательная способность тела, на его абсолютную температуру T есть величина постоянная:

$$\lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ (м} \cdot \text{град K)} = 2898 \text{ (мкм} \cdot \text{град K)} \quad (3.2)$$

Задание 3.1

Считая, что Земля излучает как абсолютно черное тело, определить по формулам (3.1) и (3.2) и значениям температуры поверхности почвы из таблицы 3.1:

- а) излучательную способность поверхности почвы (Вт/м²);
- б) на какую длину волны приходится максимум излучения (мкм).

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t почвы, °C	-70	-43	0	10	27	-23	55	80	45	-5

Примечания:

1. Учесть необходимость перехода к абсолютной температурной шкале.
2. Вычисления производить с точностью до сотых.

3.3 Прямая солнечная радиация

Потоком прямой солнечной радиации I называется количество лучистой энергии, приходящее в единицу времени на единицу поверхности, расположенной перпендикулярно к падающим лучам.

В системе СИ поток радиации выражается в кВт/м²; в практической работе до сих пор часто пользуются внесистемной единицей – кал/см²·мин. Связь между ними определяется соотношением: 1 кал/см²·мин = $697,8 \cdot 10^{-3}$ кВт/м².

Поток прямой солнечной радиации, поступающий на единицу горизонтальной поверхности I' , выражается формулой

$$I' = I \cdot \sin h, \quad (3.3)$$

где h – высота Солнца, а на единицу вертикальной поверхности формулой

$$I'' = I \cdot \cos h. \quad (3.4)$$

Задание 3.2.

В таблице 3.2 приведены данные измерения потоков солнечной радиации (кал/см²·мин) за 15 сентября в г. Харькове при различной высоте солнца.

а) Пользуясь формулой (3.3), определить поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность.

б) Повторить расчет для вертикальной поверхности по формуле (3.4).

в) Результаты перевести в кВт/м².

Таблица 3.2 – Исходные данные измерения потоков солнечной радиации

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h солнца (°)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	43
I , кал/см ² ·мин	0,41	0,67	0,87	1,01	1,10	1,15	1,16	1,21	1,27	1,24

Примечания:

1. расчеты производить с точностью до сотых;
2. использовать таблицу синусов углов (таблица 3.3);
3. учесть, что $\cos h = \sin (90^\circ - h)$.

Таблица 3.3 – Синусы углов

Угол (град)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	43
sin	0.087	0.174	0.259	0.342	0.423	0.500	0.574	0.643	0.707	0.682
Угол (град)	47	50	55	60	65	70	75	80	82	85
sin	0.731	0.766	0.819	0.866	0.906	0.940	0.966	0.985	0.996	

3.4 Суммарная радиация. Отражение солнечной радиации

Поглощенная радиация

Суммарная радиация I_s определяется как сумма прямой радиации, приходящей на горизонтальную поверхность ($I' = I \cdot \sin h$), и рассеянной (i).

Т.о. суммарная радиация выражается формулой

$$I_s = I \cdot \sin h + i, \quad (3.5)$$

или с учетом формулы (3.3),

$$I_s = I' + i. \quad (3.6)$$

При безоблачном небе суточный ход суммарной радиации имеет максимум в послеполуденные часы, в годовом ходе максимум летом

Суммарная солнечная радиация, попадая на поверхность Земли, частично отражается ею обратно в атмосферу. Отношение количества радиации, отраженной от поверхности, к количеству падающей на нее радиации называется альбедо данной поверхности.

Альбедо (A) характеризует отражательную способность поверхности и выражается дробью или в процентах.

Т.о., из общего потока суммарной радиации I_s отражается от земной поверхности часть его $I_s \cdot A$, где A – альбедо поверхности.

Остальная часть суммарной радиации поглощается земной поверхностью и идет на нагревание. Эту часть называют поглощенной радиацией, а $(1 - A)$ – коэффициентом поглощения.

$$I_{\text{погл}} = I_s(1 - A). \quad (3.7)$$

Задание 3

Используя результаты расчетов прямой солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность I' из задания II.1, и данные из таблицы 4, вычислить:

- суммарную радиацию (кВт/м²) по формуле (5);
- поглощенную радиацию (кВт/м²) – по формуле (6).

Таблица 4 – Исходные данные для расчетов прямой солнечной радиации

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i кВт/м ²	0,04	0,13	0,21	0,28	0,33	0,38	0,42	0,44	0,46	0,45
A (%)	14	8	23	16	35	40	10	25	50	45

3.5 Эффективное излучение. Радиационный баланс.

В атмосфере встречаются два потока длинноволновой радиации – излучение земной поверхности и встречное излучение атмосферы. Разность между ними, определяющая фактическую потерю тепла земной поверхностью, называют эффективным излучением E_e .

Таким образом, Земля одновременно получает солнечную радиацию (приход) и отдает ее (расход). Разность между приходом и расходом солнечной радиации, между поглощенной радиацией и эффективным излучением, называют радиационным балансом земной поверхности.

Радиационный баланс земной поверхности может быть рассчитан по формуле:

$$R = (I \cdot \sin h + i)(1 - A) - E_e, \quad (3.8)$$

или, с учетом формул (3.3) и (3.6)

$$R = I_{\text{погл}} - E_e. \quad (3.9)$$

Задание 4

Используя результаты предыдущих расчетов из заданий II–III, и данные об эффективном излучении из таблицы 5, вычислить величину радиационного баланса в (кВт/м²) по формуле (7).

Таблица 5 – сходные данные для расчета радиационного баланса

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_e (кВт/м ²)	0.02	0.13	0.21	0.29	0.24	0.23	0.48	0.32	0.09	0.13

Практическая работа № 4

ПОТЕНЦИАЛ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Цель работы – изучение климатологических особенностей загрязнения воздуха городов и климатических характеристик, определяющих рассеивающую способность атмосферы, а также изучение методики оценки и расчёт метеорологического потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА).

4.1 Общие сведения

Вредные вещества, попадая в атмосферу, подвергаются физико-химическим превращениям, рассеиваются и вымываются из атмосферы. Степень загрязнения атмосферы от антропогенных источников зависит от того, будут ли эти вещества переноситься на большие расстояния от источника или скапливаться в районе их выброса. При постоянном режиме выбросов вредных веществ колебания уровня загрязнения происходят под влиянием условия переноса и рассеивания в атмосфере.

Сочетание метеорологических параметров, определяющих возможный уровень загрязнения атмосферы при заданных выбросах называют *потенциалом загрязнения атмосферы* (ПЗА). Эта характеристика противоположна рассеивающей способности атмосферы (РСА). Чем выше РСА, тем ниже ПЗА.

РСА оценивается комбинированным показателем, включающим высоту слоя перемешивания и скорость ветра в этом слое.

Различают метеорологический и климатический ПЗА.

Метеорологический ПЗА включает сочетание наблюдаемых (или ожидаемых) метеорологических параметров в определённый период (час, сутки) и используется при прогнозировании возможных изменений уровня загрязнения на короткие временные интервалы. Климатический ПЗА включает многолетние климатические характеристики. Поэтому он позволяет оценить ожидаемый в данном физико-географическом районе (при заданных выбросах) средний уровень загрязнения.

Поскольку формирование уровня загрязнения атмосферы связано с условиями вертикального и горизонтального переноса и рассеивания примесей, то ПЗА может представляться в виде различных сочетаний метеорологических параметров, определяющих эти условия.

4.2 Основные характеристики, определяющие потенциал загрязнения атмосферы

ПЗА может включать любые сочетания метеорологических факторов, характеризующих условия вертикального и горизонтального рассеивания примесей в атмосфере (например, коэффициент турбулентного и скорость ветра, объём перемешивания и др.), но эти факторы должны соответствовать условиям повышения (или понижения) концентрации примесей от выбросов данного типа источников. Так, ПЗА для случая низкого источника холодных выбросов будет отличаться от ПЗА для случая высокого источника нагретых выбросов.

В городах с большим количеством крупных и мелких предприятий влияние метеорологических характеристик на рассеивание примесей будет зависеть от соотношения низких и высоких источников выбросов, от нагретых и холодных выбросов.

Для случаев городских условий с многочисленными низкими и неорганизованными выбросами ПЗА включает приземные и низкие приподнятые инверсии, скорость ветра 0–1 м/с, застои и туманы. Превышение концентрации примеси над некоторым условным неопасным уровнем будет происходить при наличии приземных (или низких приподнятых) инверсий и при скорости ветра более 1 м/с и отсутствии инверсий, а также превышение над неопасными уровнями более чем на 50 % создаётся приземными инверсиями при слабом ветре, то есть застое воздуха. Превышение уровня загрязнения воздуха на 50 % и более отличается также при туманах и высоте слоя перемешивания менее 500 м.

Как для случаев отдельного источника, так и для городских условий высокая интенсивность солнечной радиации и повышение температуры воздуха в летнее время благоприятствует фотохимическим реакциям, увеличивают вероятность возникновения фотохимического смога и повышения уровня загрязнения воздуха.

Атмосферные осадки способствуют вымыванию примесей из атмосферы, а их интенсивность определяет скорость этого процесса. Эти факторы следует принимать во внимание при оценках ПЗА

4.3 Расчёт ПЗА

В различных странах влияние метеоусловий на уровень загрязнения атмосферы оценивается по-разному. В Германии для оценки влияния РСА на содержание примеси в атмосфере введён индекс застойных условий I_3 , учитывающий среднюю высоту слоя перемешивания (ВСП) H и среднюю скорость ветра U за рассматриваемый временной интервал:

$$I_3 = R\sqrt{1/UN}, \quad (4.1)$$

где R – поправочный множитель.

ВСП экспериментально определяется по ежедневным данным аэрологического зондирования атмосферы и максимальной температуре воздуха за сутки, полученной по метеорологическим наблюдениям. На аэрологической диаграмме максимальная за сутки ВСП находится как точка пересечения кривой вертикального распределения температуры в ночной срок с линией, проходящей по сухой адиабате через максимум температуры. ВСП (H) пропорциональна средней высоте пограничного слоя (H_0):

$$H_0 = 0,76H. \quad (4.2)$$

В США разработан показатель ПЗА в виде функции, зависящей от высоты слоя перемешивания, скорости ветра и протяженности города L в направлении преобладающего ветра.

В нашей стране широко используется показатель ПЗА, выраженный через отношение средних концентраций примесей при одинаковых выбросах в конкретном (q_i) и условном (q_o) районах, различающихся по климатическим условиям распространения примеси:

$$\text{ПЗА} = q_i/q_o, \quad (4.3)$$

т. е. ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения атмосферы в конкретном районе, определяемый реальной повторяемостью неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий, будет выше, чем в условном.

Если принять, что распределение концентрации примеси соответствует логарифмическому закону, то формула для расчета среднего значения концентрации q может быть получена из выражения:

$$q = m e^{s/2}, \quad (4.4)$$

где m и s – параметры логарифмически нормального распределения.

Если известны вероятности P_1 и P_2 реализации некоторых метеорологических условий, при которых будут наблюдаться концентрации примеси выше q_n и q_n , то параметры m и s могут быть выражены через эти вероятности. Величина g и параметры, определяющие условия рассеивания, зависят от параметров выбросов вредных веществ (нагретые, высокие, холодные, низкие). Поэтому оценка ПЗА относится к заданному типу источников и определенному географическому району.

Для городских условий, в которых преобладают низкие источники выбросов, можно принять $g = 1,5$. Тогда:

$$Q = q_n \exp [0,04/(Z_2-Z_1)^2 - 0,4Z_1/Z_2-Z_1], \quad (4.5)$$

где Z_1 и Z_2 – аргументы интеграла вероятности $\Phi(Z)$, при которых Φ связано с P_1 и P_2 соотношениями:

$$\Phi(Z_1) = 1 - 2 \cdot P_1; \quad (4.6)$$

$$\Phi(Z_2) = 1 - 2 \cdot P_2. \quad (4.7)$$

Для условного района выбираются минимальные значения P_1 и P_2 соответственно 0,1 и 0,05:

$$P_1 = 0,1; \quad P_2 = 0,05. \quad (4.8)$$

Для любого района территории России эти значения выше, чем в условном районе.

Известно, что при расчете ПЗА для низких источников принято:

$$P_1(q > q_n) = P_{ин} + P_{сл} - P_3 + P_T; \quad (4.9)$$

$$P_2(q > 1,5q_n) = P_3 + P_T, \quad (4.10)$$

где $P_{ин}$, $P_{сл}$, P_3 и P_T – повторяемости соответственно приземных инверсий, скорости ветра 0-1 м/с, застоев воздуха и туманов. Повторяемость туманов вычисляется, как отношение числа часов с туманом к общему числу часов в году ($365 \cdot 24 = 8760$ ч/год).

Для отдельных высоких источников нагретых выбросов в качестве q_0 берется $C_m/2$, $\gamma = 2$. Тогда

$$q = C_m/2 \exp [0,12 / (Z_1 - Z_2)^2 - 0,69 Z_1 / Z_2 - Z_1]. \quad (4.11)$$

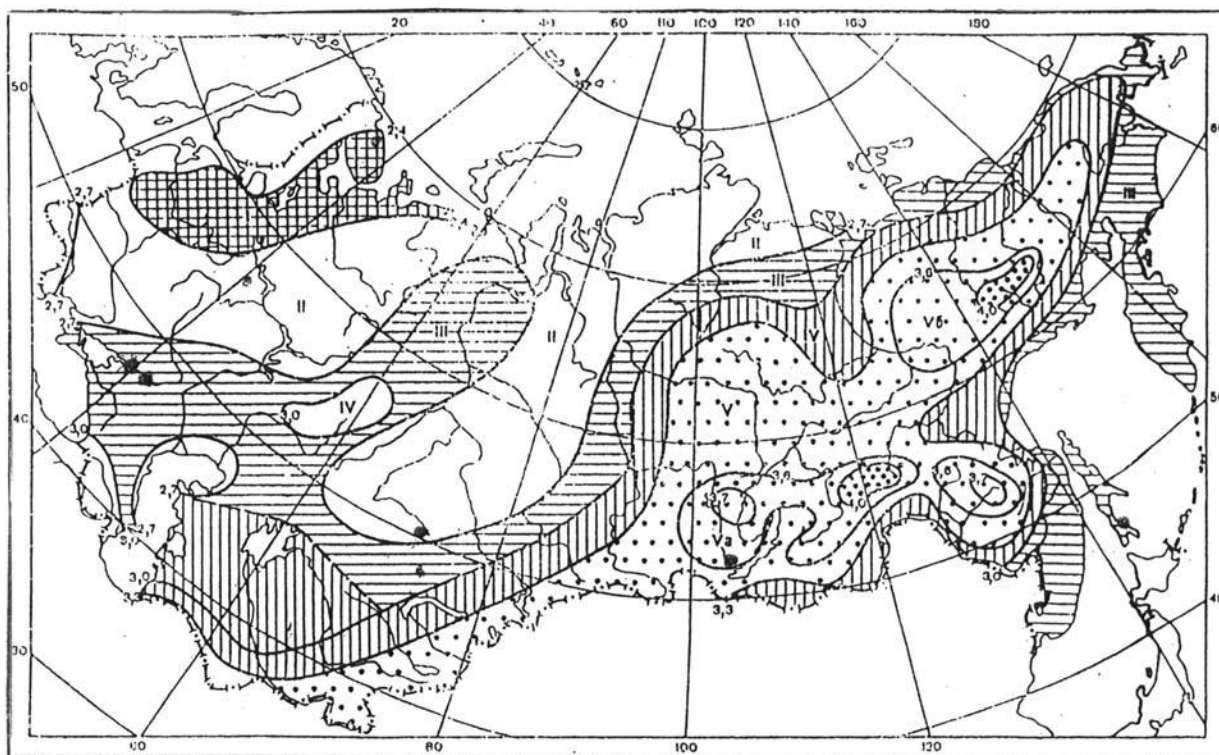
При этом

$$P_1(q > C_m) = P_{ин} + P_{сл} + P_u/2; \quad (4.12)$$

$$P_2(q > C_m) = P_{ин} + P_{сл}, \quad (4.13)$$

где $P_{ин}$ – повторяемость приподнятых инверсий; $P_{сл}$ – повторяемость слабых ветров от земли до высоты источников выбросов; P_u – повторяемость опасной скорости ветра.

Следовательно, при расчете ПЗА учитываются основные характеристики условий вертикального перемешивания атмосферы. Для того чтобы оценить рассеивающую способность атмосферы в различных физико-географических районах, необходима специальная климатическая информация, которая содержится в справочниках по климату [3]: повторяемость приземных и приподнятых инверсий, их мощность, интенсивность; повторяемость застоев воздуха, штилевых слоев до различных высот и др., представленных в табл. 4.1. Исходя из этих данных по формулам (4.3), (4.5), (4.9), (4.10) можно рассчитать значения ПЗА для разных районов страны. По значениям ПЗА выделено 5 зон (рис. 4.1).



Первая, характеризуемая низким ПЗА, охватывает северо-западную часть ЕТР, включая побережье Белого и Баренцева морей. Здесь в среднем за год наблюдаются наиболее благоприятные условия для рассеивания вредных выбросов от низких источников. Повторяемость скоростей ветра (меньше 1 м/с) не превышает 20 %, приземных инверсий в целом за год – 20–30 %, причем в утренние и вечерние часы они достигают 40–65 %. Максимум повторяемости приземных инверсий отличается весной и осенью. Формирование приземных инверсий в этой зоне редко сопровождается ослаблением скорости ветра. При скорости ветра, меньшей или равной 1 м/с, приземные инверсии наблюдаются только в 5–10 % случаев. Вертикальная протяженность (мощность) и интенсивность приземных инверсий также невелики, примерно 0,4 км и 2–3 °С соответственно и только в январе увеличиваются до 0,8 км и 3–8 °С. При таких условиях редко происходит скопление примеси у земли. Этому также благоприятствуют осадки, способствующие вымыванию примесей. Максимум осадков отмечается в сентябре-октябре при увеличении повторяемости утренних и вечерних инверсий. Увеличение осадков в этот период снижает неблагоприятное действие инверсий. Туманы над этой территорией формируются не очень часто. В силу особенностей метеорологического режима повышенный уровень загрязнения воздуха в этой зоне формируется в переходные сезоны (осенне-весенние периоды). Повышенные значения ПЗА (2,5–3,0) отмечаются также ночью в теплое полугодие.

Вторая, характеризуемая умеренным ПЗА, охватывает центральную, юго-западную и северо-восточную части ЕТР, а также часть Западной Сибири. Для нее повторяемость скорости ветра 0,1 м/с даже в сравнительно защищенных условиях не превышает 40 % в периоды для длительного сохранения скорости ветра <1 м/с с наблюдением 1–5 раз в месяц. Повторяемость приземных инверсий за год составляет 30–40 %. Максимум их как в скорости ветра 0–1 м/с отмечается летом. Почти в 30 % случаев инверсии наблюдаются при скорости ветра 0–1 м/с. Большое влияние на ПЗА оказывают приподнятые инверсии, образование которых над крупными городами часто обусловлено разрушением приземных инверсий. Весной, особенно в утренние сроки, повторяемость приподнятых инверсий с нижней границей на сравнительно небольших высотах (до 500 м) достигает 40 %. В среднем за год их мощность в пределах 0,3–0,6 км при интенсивности 1,5–4 °С. Наличие задерживающих слоёв на сравнительно небольшой высоте, но имеющих большое вертикальное и горизонтальное протяжение, может способствовать накоплению примеси в приземном слое и от высоких источников. Число дней с туманом в основном не превышает 40 за год. Образуются они в основном в холодное полугодие. В связи с особенностями климата во второй зоне в разные периоды года создаются примерно одинаковые условия как для рассеивания, так и накопления примесей в приземном слое воздуха.

Третья, характеризуемая повышенным ПЗА, охватывает Нижнее Поволжье, Северный Кавказ, большую часть Урала, часть Западной Сибири, а также побережье северо-восточных и дальневосточных морей, Камчатку и Сахалин. На ЕТС повторяемость слабых ветров составляет 20–40 % с

максимумом в августе-сентябре. Число дней со скоростью ветра ≤ 1 м/с в течение суток во всей зоне не превышает 5 %. Для этой зоны характерны условия застоя воздуха и слабых ветров, а в отдельные периоды увеличение повторяемости низких приподнятых инверсий, особенно осенью, что способствует накоплению примесей в приземном слое атмосферы от низких источников. Число дней с туманами в этой зоне сильно колеблется. В Западной Сибири, на Урале оно составляет 15–25. На Северном Кавказе число дней с туманом несколько больше. Дальний Восток характеризуется максимумом приземистых инверсий зимой. Количество осадков возрастает от весны к лету. В связи со сложной картиной формирования условий рассеивания выбросов можно сказать, что наиболее благоприятные условия рассеивания вредных веществ зимой. Однако летом при туманах и ослаблении скорости ветра можно ожидать такие повышения уровня загрязнения воздуха.

Четвёртая. Эта зона характеризуется высоким ПЗА и охватывает Южный Урал, часть Красноярского края, Низкая рассеивающая способность атмосферы обусловлена преобладанием слабых ветров и мощных приземных инверсий, которые составляют 40–50 %, а при слабых ветрах – 10–30 %. Число дней с туманами в горных районах изменяется довольно существенно в зависимости от высоты места и экспозиции склонов относительно влагонесущих потоков. В высокогорной зоне Кавказа число дней с туманом может достигать 200. Максимум туманов наблюдается зимой, а максимум осадков отмечается весной и осенью. Летом осадков выпадает мало, а, значит, в это время они не играют существенной роли в очищении атмосферы от вредных выбросов.

Пятая – характеризуется очень высоким ПЗА и в основном охватывает Восточную Сибирь. Здесь располагается мощный антициклон, обуславливающий слабые ветры и устойчивую стратификацию атмосферы. Повторяемость скорости ветра 0–1 м/с составляет 50–70 %, а в отдельных местах и более. Повторяемость приземных инверсий в год составляет 40–50 %. В зимние месяцы приземные инверсии наблюдаются почти постоянно в течение суток, т.е. сохраняются условия застоя воздуха во всём пограничном слое, что обуславливает чрезвычайно низкую рассеивающую способность атмосферы и высокий ПЗА. В указанных условиях и при температуре воздуха от -40 до -50 °С наблюдаются туманы. Они связаны с поступлением в атмосферу нагретых выбросов от крупных промышленных предприятий и от различных отопительных систем.

V – очень высокий ПЗА

4.4 Расчётная часть

Задание 4.1

Рассчитать потенциал загрязнения атмосферы для четырёх времён года и в среднем за год для одного из городов (согласно своему варианту). Сравнить полученные величины ПЗА и сделать вывод. Для этого по формулам (4.9) и (4.10) рассчитать значения P_1 и P_2 . По полученным значениям P_1 и P_2 с помощью рис. 4.2 определить величину ПЗА для четырёх времён года (весна,

лето, осень, зима), а также среднюю величину ПЗА за год. Использовать таблицы исходных данных для расчёта ПЗА (табл. 4.2,4.3,4.7,4.8).

Исходные данные для расчёта ПЗА

Таблица 4.2 – Суточный и годовой ход повторяемости (%) слабых ветров (0–1 м/с), $P_{сл}$, %

№	Город	Месяцы года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Мурманск	0,8	1,0	0,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,8	0,8	0,4
2	Москва	0,5	0,3	0,3	0,5	1,5	0,7	0,8	0,6	0,8	0,8	0,4	0,2
3	Ростов-на-Дону	0,8	1,5	1,5	0,6	0,6	1,5	1,5	0,5	1,5	1,5	1,5	0,5
4	Караганда	0,6	0,4	0,6	0,3	0,7	1,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
5	Иркутск	4,0	4,0	2,0	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0	4,0
6	Южно-Сахалинск	4,0	5,0	4,0	2,0	2,0	3,0	5,0	8,0	4,0	4,0	4,0	6,0

Таблица 4.3 – Повторяемость (%) приземных инверсий (сутки), $P_{ин}$

	Город	Месяцы года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Мурманск	17	16	15	14	11	11	13	16	14	15	16	16
2	Москва	15	13	13	16	21	16	17	18	18	12	12	10
3	Ростов-на-Дону	13	12	9	11	12	13	13	14	14	13	8	9
4	Караганда	23	23	20	12	12	17	18	17	16	13	22	20
5	Иркутск	46	38	32	20	21	19	18	21	34	35	42	44
6	Южно-Сахалинск	18	21	16	14	11	10	8	8	15	17	17	19

Таблица 4.4 – Мощность (км) приземных инверсий (за сутки)

п/п	Город	Месяцы года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Мурманск	0,58	0,60	0,52	0,39	0,42	0,42	0,41	0,40	0,37	0,38	0,46	0,57
2	Москва	0,69	0,63	0,36	0,23	0,23	0,24	0,24	0,26	0,26	0,21	0,54	0,63
3	Ростов-на-Дону	0,67	0,59	0,50	0,35	0,33	0,31	0,31	0,31	0,32	0,42	0,66	0,58
4	Караганда	0,82	0,83	0,72	0,37	0,24	0,27	0,25	0,26	0,32	0,42	0,62	0,67
5	Иркутск	0,70	0,63	0,51	0,45	0,46	0,51	0,52	0,51	0,48	0,47	0,56	0,62
6	Южно-Сахалинск	0,27	0,27	0,25	0,33	0,37	0,35	0,54	0,39	0,27	0,24	0,24	0,25

Таблица 4.5 – Интенсивность ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) приземных инверсий

	Город	Месяцы года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Мурманск	5,8	5,7	3,8	1,7	1,6	1,6	1,9	1,8	1,1	1,6	3,2	5,4
2	Москва	6,2	5,0	3,2	2,3	2,8	3,0	2,8	2,7	2,8	2,3	4,3	5,2
3	Ростов-на-Дону	4,6	4,3	3,0	2,0	2,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,8	3,5	4,5

4	Караганда	7,3	6,3	4,6	2,3	2,0	1,9	1,8	1,6	2,2	3,2	4,6	6,2
5	Иркутск	8,8	7,9	5,3	3,8	4,3	4,0	3,2	3,5	4,3	4,1	6,3	8,1
6	Южно-Сахалинск	3,8	4,1	2,7	2,3	2,8	2,4	2,2	2,1	2,5	2,3	2,6	3,2

Таблица 4.6 – Высота слоя перемешивания (км)

	Город	Месяцы года											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Мурманск	0,31	0,34	0,64	0,98	1,37	1,48	1,41	1,11	0,80	0,53	0,32	0,33
2	Москва	0,65	0,80	1,10	1,70	2,10	2,10	2,00	1,70	1,40	1,00	0,70	0,70
3	Ростов-на-Дону	0,73	0,80	0,80	0,57	0,68	0,90	0,87	0,95	1,0	0,60	0,55	0,58
4	Караганда	0,91	0,93	1,08	1,79	2,38	2,78	2,67	2,49	2,20	1,62	1,07	0,91
5	Иркутск	0,44	0,64	0,97	1,35	1,50	1,53	1,36	1,21	1,22	0,90	0,67	0,67
6	Южно-Сахалинск	0,71	0,93	0,96	1,45	1,11	0,91	0,81	0,83	1,05	1,18	1,03	0,84

Таблица 4.7 – Повторяемость туманов (P_T)

Вариант	Город	P_T
1	Мурманск	0,91
2	Москва	1,14
3	Ростов-на-Дону	1,14
4	Караганда	0,57
5	Иркутск	0,11
6	Южно-Сахалинск	1,14

Таблица 4.8 – Повторяемость застоев воздуха (P_3)

Вариант	Город	P_3
1	Мурманск	10
2	Москва	10
3	Ростов-на-Дону	8
4	Караганда	13
5	Иркутск	20
6	Южно-Сахалинск	14

Работа № 2

Изучение методов прогнозирования и расчет уровня загрязнения атмосферы на длительный период.

Цель работы: освоение методов прогнозирования и расчета концентрации примесей с учетом ПЗА.

1 Общие сведения.

Прогноз загрязнения атмосферы городов является частью общей задачи охраны окружающей среды и служит для отработки рекомендаций по предотвращению отрицательного воздействия промышленности на природную

среду. При долгосрочном прогнозировании загрязнения атмосферы городов используют сведения о перспективных планах развития отдельных отраслей промышленности, мероприятиях, направленных на снижение вредных выбросов и о количестве вредных веществ, которые поступают в атмосферу через 10–15 лет, т.е. на прогнозируемый срок. Для составления прогноза необходимы данные о средних и максимальных концентрациях примесей и выбросах вредных веществ в данный момент. Учитывается информация о размещении производств и планах развития города.

Прогноз можно составлять как для отдельных территорий, так и конкретных городов. Поскольку фактические исходные данные имеются лишь для ограниченного числа вредных веществ, а методы статистического прогноза основаны на результатах наблюдений за этими веществами, то прогнозы составляются для концентраций основных и наиболее

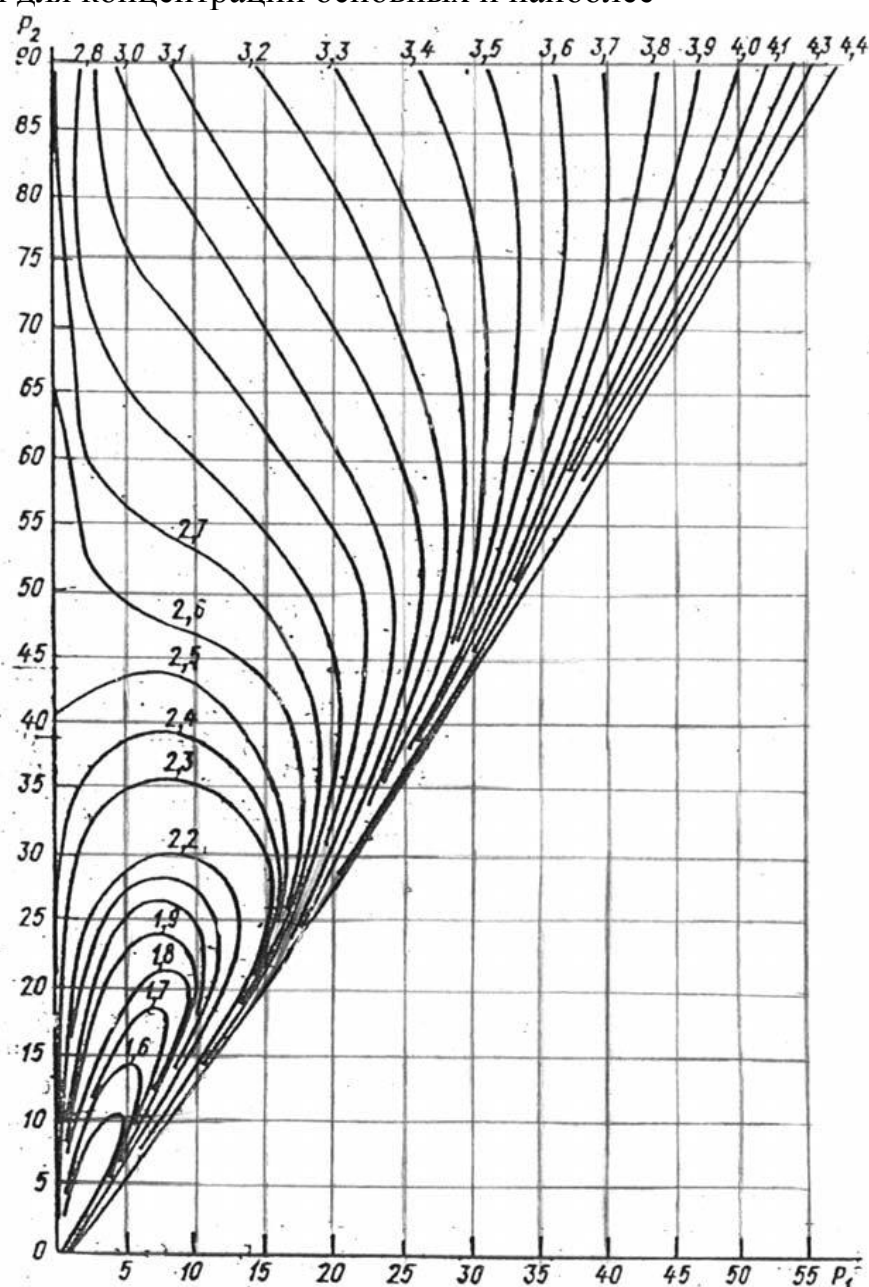


Рисунок 4.2 – Номограмма для определения относительного потенциала загрязнения атмосферы (городские условия) по значениям P_1 и P_2 при $\gamma = 1,5$

При прогнозировании уровней загрязнения воздуха используют следующие подходы:

1 Расчет поля концентрации примеси по данным о параметрах выбросов вредных веществ основных источников на территории города.

2 Определение концентрации примеси для города в целом на основании связи между суммарным выбросом вредных веществ и концентрацией их в приземном слое атмосферы.

Среднюю концентрацию примеси в каждой точке на территории города можно рассчитать по формуле:

$$q_i = \Pi \sum P_i \sum C_{mij}, \quad (4.14)$$

где q_i – средняя концентрация примеси;

Π – ПЗА, который определяют по данным повторяемости климатических характеристик в соответствии с физико-статистическим методом (полученным по заданию 1) или по карте (рис. 1);

P_i – нормированная повторяемость i -го направления ветра;

m – число источников загрязнения;

n – число исследуемых направлений ветра;

C_{mij} – максимальная концентрация, создаваемая j -ым источником в i -м направлении ветра.

3 Определение концентрации на основании связи между концентрацией примеси и косвенными характеристиками промышленного развития города.

В зависимости от полноты и точности исходной информации используется один из указанных подходов или все вместе. При разработке метода долгосрочного прогнозирования было выделено по численности населения пять групп городов: ≥ 1 млн, 500–1000 тыс., 250–500 тыс., 100–250 тыс., 20–100 тыс. жителей. По расчетам средних значений суммарного выброса и средних концентраций для городов, относящихся к данной группе, были получены уравнения связи между 17 величинами средних концентраций примеси (q , мг/м³) и суммарных выбросов (Q , т/сут):

$$q = k_1 Q \gamma, \quad (4.15)$$

где k_1 и γ – эмпирические коэффициенты (по Н.В. Федоровской) (табл. 4.9). Непосредственно из этой формулы среднее значение концентрации примеси определяется в том случае, если значения характеристик q и Q в исходный момент соответствуют среднему значению для данной группы городов.

Среднюю концентрацию примеси q_i для города, расположенного в данном районе, определяют из выражения:

$$q_i = k_2 q, \quad (4.16)$$

где q – средняя концентрация i -й примеси для группы городов с конкретной численностью населения; k_2 – коэффициент, учитывающий изменения q_i за счет различий показателя ПЗА (табл. 4.10). Значения k_2 вычислялись как отношения конкретных значений показателя ПЗА к его среднему значению для городов, данные которых были использованы при изучении связей между концентрацией примеси и численностью населения в городе. Информация о

средних значениях концентрации примеси, характере ее тенденции и диапазонах изменений в городах с различной численностью населения позволяет выполнить оценки ожидаемых уровней загрязнения для любого крупного города с такой же погрешностью, как и при прогнозе уровня загрязнения по величине ожидаемых суммарных выбросов.

Задание 4.2

1 Изучить методы прогнозирования уровней загрязнения атмосферы на длительный период.

2 Рассчитать среднюю концентрацию примеси в сутки q_i по формуле (4.15) для пыли, диоксида серы, оксида углерода и диоксида азота.

3 Рассчитать среднюю концентрацию примеси q_i по формуле (4.16) для конкретного города (в соответствии с заданием), с учетом величины ПЗА, полученной по заданию 1. Величину q_i рассчитать для четырех времен года и в среднем за год. Использовать данные табл. 4.9, 4.10.

4 Составить прогноз уровня загрязнения атмосферы для заданного города с учетом физико-климатической характеристики места расположения города.

Таблица 4.9 – Значения коэффициентов k_1 , г

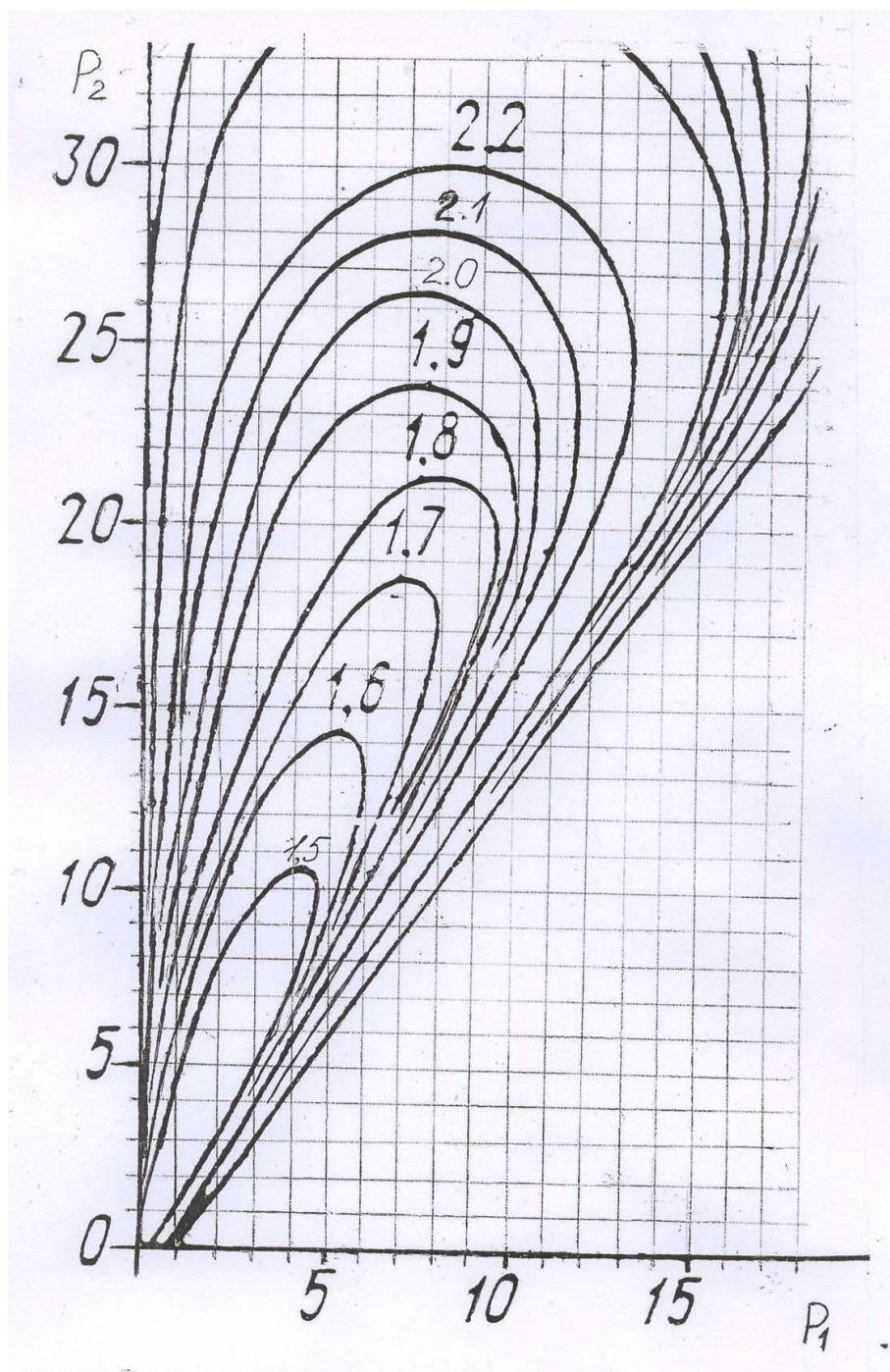
Параметр	Пыль	Диоксид серы	Оксид серы	Диоксид азота
k_1	0,053	0,002	6,800	0,020
Γ	0,46	1,07	0,12	0,37
Q , т/сут	223,56	364,38	1279,45	272,33

Таблица 4.10 – Значения коэффициентов k_2 при различных значениях ПЗА

ПЗА	1,6	1,8	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,4
k_2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4

Таблица 4.11 – Сравнение рассчитанных концентраций с нормативами

Параметр	Пыль	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота
ПДК, мг/м ³	0,3	0,05	5,0	0,085
q_i , мг/м ³				



Контрольные вопросы

- 1 Что такое ПЗА?
- 2 Назовите виды ПЗА.
- 3 Сколько климатических зон в нашей стране, отличающихся по ПЗА?
- 4 Какие вы знаете методы прогнозирования загрязнения атмосферы на длительный период?
- 5 По какой формуле можно рассчитать ПЗА?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 17.21.04.87. Охрана природы. Атмосфера. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Основные термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1987.

2 Безуглая, Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э.Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеиздат, 1980.

3 Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере : справ. пособие / под ред. Э.Ю. Безуглой и М.Е. Берлянда. – Л. : Гидрометеиздат, 1983.

4 СанПиН 2.1.6.1032-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М. : Минздрав России, 2001.