

А.А. Челноков
А.Ф. Мирончик
И.Н. Жмыхов

Инженерные методы охраны атмосферного воздуха

А.А. Челноков
А.Ф. Мирончик
И.Н. Жмыхов

Инженерные методы охраны атмосферного воздуха

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений
высшего образования
по техническим специальностям
и специальности «Природоохранная
деятельность (по направлениям)»*



Минск
«Вышэйшая школа»

УДК 508.175(075.8)

ББК 20.18я73

Ч-38

Рецензенты: кафедра природообустройства Брестского государственного технического университета; заведующий кафедрой экологии Белорусского национального технического университета доцент, кандидат технических наук *Г.И. Морзак*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Челноков, А. А.

Ч-38 Инженерные методы охраны атмосферного воздуха : учеб. пособие / А. А. Челноков, А. Ф. Мирончик, И. Н. Жмыхов. — Минск : Вышэйшая школа, 2016. — 397 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2682-0.

Описаны основные принципы и направления охраны атмосферного воздуха, процессы, протекающие в атмосфере при поступлении в нее загрязняющих веществ и их рассеивании. Рассмотрены вопросы нормирования и инвентаризации выбросов в атмосферу, государственного регулирования, учета и контроля; очистки, обезвреживания, обеззараживания и дезодорации газозвудушных выбросов, защиты воздушного бассейна от механических, химических и физических воздействий. Особое место в изучении средств защиты атмосферного воздуха отводится правовым, организационным, санитарно-техническим, градостроительным и другим методам. Представлены действующие законодательные и другие нормативные правовые акты по охране атмосферного воздуха.

Для студентов и магистрантов инженерных специальностей, аспирантов и преподавателей. Будет полезно специалистам производственной сферы услуг при повышении квалификации, а также государственным служащим, занятым проблемами охраны атмосферного воздуха и вопросами экологии.

УДК 508.175(075.8)

ББК 20.18я73

ISBN 978-985-06-2682-0

© Челноков А.А., Мирончик А.Ф., Жмыхов И.Н., 2016

© Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”», 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Атмосфера является одним из необходимых условий возникновения и существования жизни на Земле. Она играет важную роль в жизнедеятельности человека, участвует в формировании климата на планете, регулирует ее тепловой режим, способствует перераспределению теплоты у поверхности земли, обеспечивает процесс фотосинтеза растений, а также выполняет множество других функций.

В современный период атмосфера Земли претерпевает множественные трансформации коренного характера – изменяются ее свойства и газовый состав, возрастает опасность разрушения ионосферы и стратосферного озона, повышается ее запыленность, нижние слои атмосферы насыщаются вредными для биоты загрязняющими веществами техногенного происхождения и др.

Выбросы углекислого газа в атмосферу в 2014 г. достигли нового рекорда – почти 40 млрд т. По сравнению с 2013 г. они увеличились на 2,5 %. Такие данные приводятся в обновленном «Мировом углеродном бюджете» международного проекта Global Carbon Project.

При сжигании нефти и нефтепродуктов образуется 33 % от всех выбросов диоксида углерода, природного и сопутствующего газа – 18 %, при производстве цемента – 5,5 %. Остальное количество выбросов углекислого газа приходится на прочие источники. В настоящее время на одного жителя планеты выбрасывается более 1,4 т диоксида углерода в год.

В последние десятилетия температура атмосферы растет более быстрыми темпами, чем когда-либо ранее. Это в определенной мере обусловлено деятельностью человечества, связанной с увеличением потребления топлива и уничтожением площади лесных ресурсов.

Глобальное потепление климата может привести к интенсивному таянию ледников и повышению уровня Мирового океана. Изменения, которые могут вследствие этого произойти на планете, просто трудно предсказать.

В последние годы ученые все с большей тревогой отмечают *истощение озонового слоя* атмосферы. Особенно быстро этот процесс протекает над полюсами планеты, где появились так называемые *озоновые дыры*. Опасность этого явления заключается в том, что УФ-излучение губительно для всех живых организмов, в том числе и для человека.

Глобальное загрязнение атмосферного воздуха сказывается на состоянии природных экосистем, особенно на зеленом покрове нашей планеты. *Кислотные дожди*, вызываемые главным образом диоксидом серы и оксидами азота, наносят огромный вред водным, почвенным, растительным биоценозам, зданиям, сооружениям, памятникам культуры и др.

Экономические потери от кислотных дождей в США по оценкам исследователей составляют ежегодно на восточном побережье 13 млн дол., к концу века убытки достигнут 1,750 млрд дол. от потери лесов, 8,300 млрд дол. — от потери урожаев (только в бассейне реки Огайо) и только в штате Миннесота 40 млн дол. — на медицинские расходы.

В связи с этим перед мировым сообществом стоит задача 50 %-го сокращения выбросов диоксида углерода и соответственно других загрязняющих веществ к 2050 г. Под эгидой Международного энергетического агентства (IEA) осуществлен прогнозный расчет изменения выбросов CO₂ на планете к 2050 г. при условии, что мировое сообщество не будет предпринимать никаких усилий к снижению выбросов (базовый сценарий), и в случае, если будут выполняться международные соглашения по изменению климата.

В первом случае годовой выброс диоксида углерода может достичь 62 млрд т, во втором — он будет снижен до 14 млрд т. По оценкам IEA снижение выбросов диоксида углерода от транспортного сектора мировой экономики может составить 26 %, что является очень важным и многообещающим, так как на долю автотранспорта приходится около 75 % общемирового роста потребления нефтяных ресурсов.

В Беларуси, как и во всех странах, автомобильный транспорт, топливно-энергетический комплекс и промышленные предприятия наносят наиболее существенный вред окружающей природной среде, а значит, и здоровью населения. В связи с этим расширение и углубление знаний о воздействии объектов экономики на атмосферный воздух, а также обеспечение экологической безопасности как отдельного человека, так и общества в целом становится условием и средством экологически устойчивого развития страны. Стратегия устойчивого развития страны предполагает разумную экологически обоснованную технологическую и техническую политику — производить продукции больше с минимальными затратами, т.е. сберегать ресурсы, использовать их с наибольшим эффектом, совершенствовать и быстро менять технологии производства

на более экологобезопасные. Должна быть обеспечена стратегия превентивных экологических мер, заключающихся во внедрении самых эффективных технологий, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение, совершенствование и быструю смену технологий.

Для решения этих задач необходимы специалисты, обладающие научными основами обеспечения экологической безопасности, в том числе и по защите атмосферного воздуха. В связи с этим в соответствии с образовательным стандартом высшего образования ОСВО 1-33 01 07-2013 для специальности 1-33 01 07 «Природоохранная деятельность» в учебном плане предусмотрена специальная дисциплина «Инженерные методы охраны атмосферного воздуха». Изучение данной дисциплины является обязательным элементом фундаментальной подготовки специалистов в области природоохранной деятельности и основой того, что выпускники смогут осуществлять интеллектуальное и инженерное обеспечение качественного состояния атмосферного воздуха при организации и управлении промышленным производством.

В процессе освоения дисциплины у будущих специалистов должны сформироваться современные представления об основных принципах и направлениях охраны атмосферного воздуха, процессах, протекающих в атмосфере при поступлении в нее загрязняющих веществ и их рассеивании. В комплекс знаний, предусмотренный дисциплиной, входят также вопросы нормирования и инвентаризации выбросов в атмосферу, государственного регулирования, учета и контроля; очистки, обезвреживания, обеззараживания и дезодорации газовоздушных выбросов, защиты воздушного бассейна от механических, химических и физических воздействий. Особое место в изучении средств защиты атмосферного воздуха отводится правовым, организационным, санитарно-техническим, градостроительным и другим методам.

В настоящее время в Беларуси и странах СНГ учебников и учебных пособий для обеспечения учебного процесса по этой дисциплине недостаточно, поэтому предлагаемое учебное пособие «Инженерные методы охраны атмосферного воздуха» является первой попыткой систематизировать и обобщить весь комплекс имеющихся научных, нормативных и производственных материалов по охране атмосферного воздуха. Оно подготовлено с учетом требований соответствующих образовательного стандарта, типового учебного плана и учебной программы.

Материал учебного пособия составлен на основе действующих законодательных и других нормативных правовых актов по охране атмосферного воздуха Беларуси. Поскольку в некоторых главах пособия изложен материал отдельных самостоятельных дисциплин, которым посвящена обширная специальная литература, то в нем приводятся лишь сведения, необходимые для системного усвоения общих закономерностей и положений. Более полную информацию по рассматриваемым вопросам можно получить из оригинальной литературы и нормативных правовых актов по соответствующим ссылкам в тексте пособия.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность С.Н. Байтовой, К.К. Юращику, И.В. Бородько, С.В. Челочеву за предложения, которые были сделаны ими при подготовке рукописи к печати, а также Е.А. Роговой за большую работу по подготовке рисунков рукописи к печати.

Особую признательность авторы выражают рецензентам рукописи: заведующему кафедрой экологии Белорусского национального технического университета доценту, кандидату технических наук *Г.И. Морзак*, профессору, доктору географических наук *А.А. Волчек* и доценту, кандидату технических наук *А.А. Волчек* кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета, а также коллективам сотрудников этих кафедр. Предложения, советы и замечания способствовали улучшению как содержания пособия, так и самого изложения учебного материала.

ГЛАВА 1. ОХРАНА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

1.1. Атмосфера, ее строение, состав и значение для биосферы

Атмосфера — газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли массой около $5,9 \cdot 10^{15}$ т. Через атмосферу осуществляется обмен вещества Земли с космосом. Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, теряет самые легкие газы — водород и гелий. Атмосфера Земли насквозь пронизывается мощной радиацией Солнца, определяющей тепловой режим поверхности планеты, вызывающей диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов.

Предполагают, что современная атмосфера имеет вторичное происхождение. Она образовалась после завершения формирования планеты около 4,5 млрд лет назад из газов, выделяемых твердыми оболочками Земли. В течение геологической истории Земли атмосфера под влиянием различных факторов претерпевала значительные изменения своего состава.

Развитие атмосферы зависит от геологических и геохимических процессов, происходящих на Земле. После возникновения жизни на нашей планете, т.е. примерно 3,5 млрд лет назад, на развитие атмосферы начали оказывать существенное влияние и живые организмы. Значительная часть газов (азот, углекислый газ, водяной пар) возникла в результате извержения вулканов. Кислород появился около 2 млрд лет назад как результат деятельности фотосинтезирующих организмов, первоначально зародившихся в поверхностных водах океана.

Во многих отношениях атмосфера напоминает водную оболочку, покрывающую в виде морей и океанов три четверти земной поверхности. Как условия жизни в глубинах океана разительно отличаются от условий обитания вблизи поверхности воды, так и условия на дне воздушного океана, в которых живет человечество, отличаются от тех, что имеются в верхних слоях земной атмосферы.

Масса атмосферы нашей планеты ничтожна — всего лишь одна миллионная часть массы Земли. Однако ее роль в природных процессах биосферы огромна. Наличие вокруг земного шара атмосферы определяет общий тепловой режим поверхности нашей планеты, защищает ее от вредных космиче-

ского и ультрафиолетового (УФ) излучений. Циркуляция атмосферы оказывает влияние на местные климатические условия, а через них – на режим рек, почвенно-растительный покров и на процессы рельефообразования.

Атмосфера имеет условное слоистое строение и состоит из нескольких сфер, между которыми располагаются переходные слои – «паузы». В каждой сфере изменяется количество воздуха, давление и его температура (рис. 1.1).

Наиболее плотный слой воздуха, прилегающий к земной поверхности, носит название *тропосферы*. Протяженность ее по высоте в средних широтах составляет 10–12 км над уровнем моря, на полюсах – 7–10 км, над экватором – 16–18 км. Здесь содержатся 80 % массы атмосферы и до 80 % водяного пара, развиваются физические процессы, формирующие погоду и влияющие на климат нашей планеты. Температура в тропосфере по высоте уменьшается примерно на 0,6 °С на каждые 100 м и колеблется от +40 °С до –50 °С.

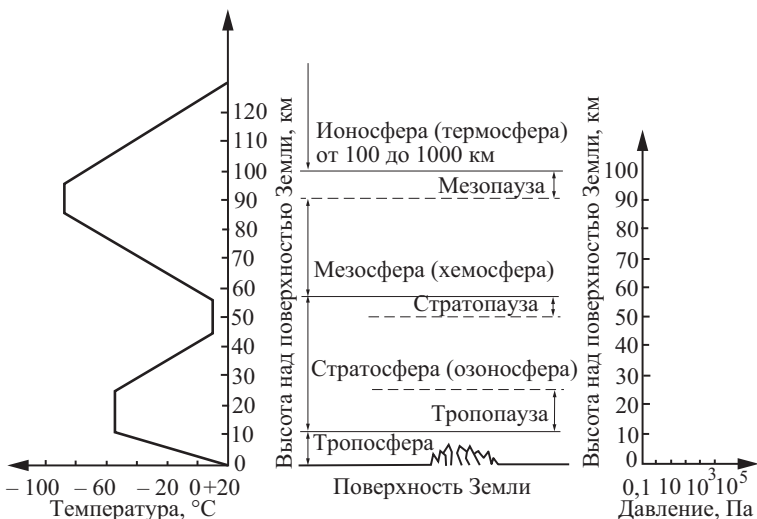


Рис. 1.1. Зависимость температуры и давления воздуха от расстояния до поверхности Земли (Семенова, 2009)

Атмосфера представляет собой чрезвычайно сложную систему. Ее пронизывает излучение Солнца и испускаемые им частицы высокой энергии, а также космическое излучение. Этот поток энергии оказывает заметное химическое воздей-

ствие на атмосферу. Кроме того, под влиянием земного притяжения более тяжелые атомы и молекулы опускаются в нижнюю часть атмосферы, а в верхней ее части остаются более легкие.

Состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого климатическими факторами (перемещение воздушных масс и атмосферные осадки), жизнедеятельностью растительного и животного мира (особенно лесов и планктона Мирового океана), космическими, геохимическими и геофизическими процессами и хозяйственной деятельностью человека. Приблизительный состав атмосферы представлен в табл. 1.1, но основными газами являются азот, кислород, аргон и углекислый газ.

Таблица 1.1. Приблизительный состав атмосферы*

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	по объему	по массе
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар:		
в полярных широтах	0,2	—
у экватора	2,6	—
Озон:		
в тропосфере	0,000001	—
в стратосфере	0,001–0,0001	—
Метан	0,00016	0,00009
Оксид азота	0,000001	0,0000003
Оксид углерода	Тысячные доли, в воздухе городов — до 0,000008	0,0000078

* Таблица отражает только порядок чисел (например, массу атмосферы оценивают от 5,15 до $5,9 \cdot 10^{15}$ т), поскольку количество атмосферных примесей непрерывно меняется (Степановских, 2001).

Над тропосферой до высоты 45–55 км (нижняя граница стратопаузы) расположена *стратосфера*, где температура постепенно возрастает до самой верхней границы. В ней находится озоновый слой, поглощающий большую часть УФ-ра-

диации и предохраняющий жизнь на Земле. Основная масса озона располагается на высотах 22–24 км. Озоновый слой часто называют озоновым экраном Земли. В тропосфере и стратосфере протекают химические реакции газовых компонентов атмосферы, естественных и антропогенных выделений, а также выбросов загрязняющих веществ.

Расположенная выше *мезосфера* характеризуется новым понижением температуры до высоты 80–85 км и через мезопаузу переходит в *ионосферу (термосферу)*. В этой области кинетическая температура пропорционально возрастает с высотой: на высоте 150 км температура достигает 200–240 °С, на уровне 200 км – 500 °С, а на высоте 500–600 км превышает 1500 °С. В ионосфере наблюдается повышенная ионизация молекул газа. Этот слой высотой до 130 км также оберегает все живое от вредного воздействия космической радиации, влияет на отражение и поглощение волн радиочастотного диапазона.

Далее до 10 000 км простирается *экзосфера*, где плотность воздуха с увеличением высоты убывает, приближаясь к разреженности вещества в космическом пространстве.

В отличие от температуры, атмосферное давление неуклонно уменьшается с высотой. Особенно резко оно падает в нижних высотах. Такая особенность объясняется сжимаемостью атмосферы в отличие от гидросферы: на уровне моря давление составляет 760 мм рт. ст., на высоте 100 км – $2,3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., а на высоте 200 км – $1,0 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Хотя на верхние зоны атмосферы приходится лишь небольшая часть ее массы, они в значительной мере определяют жизнь на поверхности Земли, защищая нашу планету от потока лучей и града частиц высоких энергий. В результате такого воздействия молекулы и атомы подвергаются химическим превращениям. Диффузное распределение компонентов атмосферы (более тяжелые внизу, более легкие наверху) за длительный период привело к тому, что на высоте 500–1000 км гелий становится основным элементом атмосферы. Гелиевая корона Земли простирается примерно до 1600 км, а выше 2000–3000 км в атмосфере уже преобладает водород.

Качество атмосферного воздуха является одним из основных жизненно важных характеристик окружающей среды, благоприятное состояние которой составляет естественную основу устойчивого социально-экономического развития цивилизованного общества.

Наибольшее значение для различных экосистем имеют три газа, входящие в состав атмосферы (кислород, углекислый газ,

азот), и водяной пар. Эти газы участвуют в основных биогеохимических циклах.

Кислород играет важнейшую роль в жизни большинства живых организмов на нашей планете и необходим им для обеспечения дыхания. Кислород не всегда входил в состав земной атмосферы. Он появился в результате жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов, а под действием УФ-лучей происходило его превращение в озон. По мере накопления озона в верхних слоях атмосферы образовался озоновый слой.

Современная атмосфера содержит примерно двадцатую часть кислорода, имеющегося на нашей планете. Основные запасы кислорода сосредоточены в карбонатах, в органических веществах и оксидах железа, часть кислорода растворена в воде. В атмосфере сложилось приблизительное равновесие между производством кислорода в процессе фотосинтеза и его потреблением живыми организмами. Но в настоящее время появилась реальная опасность, что в результате человеческой деятельности запасы кислорода в атмосфере могут уменьшиться. Особую тревогу вызывает разрушение озонового слоя, которое наблюдается в последние годы.

Круговорот кислорода в биосфере необычайно сложен, так как с ним вступает в реакцию большинство органических и неорганических веществ, а также водород, соединяясь с которым кислород образует воду.

Углекислый газ используется в процессе фотосинтеза для образования органических веществ. Именно благодаря этому процессу замыкается круговорот углерода в биосфере. Как и кислород, углерод входит в состав почв, растений, животных, участвует в многообразных механизмах круговорота веществ в природе. Содержание углекислого газа в воздухе примерно одинаково в различных районах планеты. Исключение составляют крупные города, в которых содержание этого газа в воздухе бывает выше фонового значения.

Некоторые колебания содержания углекислого газа в воздухе в отдельных регионах зависят от времени суток, сезона года, состояния биомассы растительности, антропогенной нагрузки и других факторов. В то же время исследования показывают, что с начала XX в. среднее содержание углекислого газа в атмосфере, хотя и медленно, но постоянно увеличивается. Ученые связывают этот процесс главным образом с деятельностью человека.

Азот — незаменимый биогенный элемент, поскольку он входит в состав белков и нуклеиновых кислот. Атмосфера —

неисчерпаемый резервуар азота, однако, основная часть живых организмов не может его использовать непосредственно в свободном виде, так как он должен быть предварительно связан в виде химических соединений.

Частично азот поступает из атмосферы в экосистемы в виде оксидов азота, образующихся под действием электрических разрядов во время гроз. Однако основная часть азота поступает в воду и почву в результате его биологической фиксации. Существует несколько весьма многочисленных видов бактерий и цианобактерий, которые способны фиксировать азот атмосферы. В результате их деятельности, а также благодаря разложению органических остатков в почве растения-автотрофы получают возможность усваивать необходимый азот.

Круговорот азота тесно связан с круговоротом углерода. Несмотря на то, что круговорот азота сложнее, чем круговорот углерода, он, как правило, происходит быстрее.

Водяной пар – важная составная часть воздуха. Он поступает в атмосферу при испарении с поверхности воды и влажной почвы, а также путем *транспирации* (испарения воды) растениями. От земной поверхности водяной пар распространяется вверх и воздушными течениями переносится из одних мест Земли в другие. При понижении температуры часть водяного пара конденсируется, переходит в жидкое или твердое состояние. В воздухе возникают водяные капельки и ледяные кристаллики в виде облаков или туманов, которые, укрупняясь, могут выпадать на земную поверхность в виде осадков. Вследствие этого механизма содержание водяного пара в каждом участке атмосферы непрерывно меняется.

С водяным паром в воздухе и с его фазовыми переходами из газообразного состояния в жидкое и твердое связаны важнейшие процессы погоды и особенности климата. Наличие водяного пара в атмосфере существенно сказывается на тепловых условиях атмосферы и земной поверхности.

Водяной пар сильно поглощает длинноволновую инфракрасную радиацию, которую излучает земная поверхность. В свою очередь и он излучает инфракрасную радиацию, большая часть которой поступает к земной поверхности. Это приводит к снижению ночного охлаждения земной поверхности и тем самым нижних слоев воздушного бассейна. На испарение воды с земной поверхности затрачиваются большие количества теплоты, а при конденсации водяного пара в атмосфере эта теплота передается воздуху. Облака, возникающие в ре-

зультате конденсации, отражают и поглощают солнечную радиацию на ее пути к земной поверхности.

С удалением от поверхности Земли количество водяного пара в атмосферном воздухе быстро падает, и уже на высоте 1,5–2 км убывает наполовину. В тропосфере ввиду понижения температуры водяной пар конденсируется. Количество осадков, выпадающих на Землю, равно количеству испарившейся с поверхности Земли воды. Избыток водяного пара над океанами переносится на континенты воздушными потоками. Количество водяного пара, переносимого в атмосфере с океана на континенты, равно объему стока рек, впадающих в океаны.

В атмосфере вода находится в трех агрегатных состояниях – газообразном (водяной пар), жидком (капли дождя) и твердом (кристаллики снега и льда). Таким образом, ливни и морозящие дожди, град, пушистый легкий снег и обильные снегопады – все это *атмосферные осадки*, представляющие собой воду в твердом или жидком состоянии. Облака и водяные пары поглощают и отражают избыток солнечной радиации, а также регулируют ее поступление на Землю. Одновременно они задерживают встречное тепловое излучение, идущее от поверхности Земли в межпланетное пространство. Содержание воды в атмосфере определяет погоду и климат местности.

Облака состоят из мельчайших капель воды диаметром от 0,05 до 0,1 мм. Согласно международной классификации существуют десять типов облаков: перистые, перисто-кучевые, перисто-слоистые, высококучевые, высокослоистые, слоисто-дождевые, слоистые, слоисто-кучевые, кучево-дождевые, кучевые.

Большая часть облаков образуется в тропосфере. Облака тропосферы условно разделяют на три яруса: нижний – до 2 км, средний – от 2 до 8 км и верхний ярус – от 8 до 18 км. Для нижнего яруса характерны *слоистые, слоисто-кучевые и слоисто-дождевые облака*. Они почти всегда непроницаемы для солнечных лучей и рождают длительные осадки.

В нижнем ярусе могут образовываться *кучевые и кучево-дождевые облака*. Они нередко имеют вид башен или куполов, растущих вверх до 5–8 км и выше. Нижняя часть этих облаков – серая, а иногда иссиня-черная, состоит из воды, а верхняя – ярко-белая – из ледяных кристаллов. С кучевыми облаками связаны ливни, грозы и град.

Для среднего яруса характерны *высокослоистые и высококучевые облака*, состоящие из смеси капель, кристалликов льда и

снежинок. В верхнем ярусе образуются *перистые*, *перисто-слоистые* и *перисто-кучевые облака*. Перистые облака не несут осадков, но часто являются предвестниками перемены погоды.

Реже облака появляются в стратосфере. Их называют *перламутровыми*. Еще выше, в слоях мезопаузы, на расстоянии 50–80 км от Земли, изредка наблюдаются *серебристые облака*. Известно, что они состоят из кристалликов льда и возникают при снижении температуры в мезопаузе до -80°C . Их образование связывают с интересным явлением – пульсацией атмосферы под действием приливных гравитационных волн, вызываемых Луной. Эти облака можно наблюдать редко и только в высоких широтах (Антарктика и Антарктида).

При кажущейся легкости и воздушности облака содержат значительное количество воды. Водность облаков (т.е. их водосодержание) колеблется от 10 до $0,1 \text{ г/м}^3$ и менее. Эти гигантские водные массы непрерывно переносятся воздушными потоками над поверхностью Земли, вызывая на ней перераспределение воды и теплоты. Увеличение количества водяного пара на 1 % может увеличить среднюю глобальную температуру поверхности Земли более чем на 4°C .

Основным источником теплоты для атмосферы является поверхность Земли. Атмосферный воздух достаточно хорошо пропускает к земной поверхности солнечные лучи. Поступающая на Землю солнечная радиация частично поглощается атмосферой, главным образом водяным паром и озоном, но подавляющая ее часть достигает земной поверхности и частично отражается от нее. Величина отражения зависит от отражающей способности конкретного участка земной поверхности, так называемого *альбедо*. Среднее альбедо Земли – около 30 %, при этом разница между величинами альбедо составляет от 7–9 % для чернозема и до 90 % для свежевывапавшего снега.

Земная поверхность нагревает и нижние слои атмосферы. Теплота земной поверхности поступает в атмосферу в результате конденсации водяного пара, а также путем поглощения прямой солнечной радиации. Неодинаковый разогрев атмосферы в разных областях Земли вызывает неравномерное распределение давления, что приводит к перемещению воздушных масс вдоль поверхности Земли. Воздушные массы перемещаются из областей с высоким давлением в области с низким давлением. Такое движение воздушных масс называют *ветром*. При определенных условиях скорость ветра может быть очень большой, до 30 м/с и более.

В каждой местности метеорологические условия меняются довольно быстро. Такое переменное состояние атмосферы носит общее название погоды.

Погода – это состояние климатических факторов в данной местности в данный момент. В один и тот же момент в разных местах погода может быть неодинаковой, и в одном и том же месте она нередко изменяется в течение нескольких часов. Погода характеризуется температурой воздуха, осадками, силой и направлением ветра, облачностью, влажностью воздуха и атмосферным давлением. Погода определяется условиями циркуляции атмосферы и географическим положением местности. Она устойчива в тропиках и наиболее изменчива в средних и высоких широтах. Характер погоды, ее сезонная динамика зависят от климата на данной территории.

Среднее состояние климатических факторов за 100 лет и более дает представление о климате. *Климат* данной местности – это закономерная последовательность метеорологических процессов, определяемая географическими условиями и выражающаяся в многолетнем режиме погоды. Климат более устойчив, чем погода, но и он испытывает колебания в длительные промежутки времени.

Таким образом, климат является результатом различных климатоформирующих физических процессов, к которым относятся:

- лучистая энергия на земной поверхности и в атмосфере;
- атмосферная циркуляция, т.е. система воздушных течений, несущих различное количество теплоты и влаги;
- вертикальный теплообмен и влагообмен в атмосфере, подстилающем слое и между ними.

Другие составные части воздуха не участвуют в биохимических циклах, но наличие большого количества загрязнителей, особенно ксенобиотиков, в атмосфере может привести к серьезным нарушениям этих циклов.

Таким образом, суммируя все вышеперечисленное, атмосферный воздух выполняет сложнейшие экологические функции:

- обеспечивает дыхание живых организмов кислородом, а растений – углекислым газом, необходимым им для фотосинтеза;
- регулирует тепловой режим Земли (климат), способствует перераспределению теплоты и влаги по земному шару;
- предохраняет Землю от чрезмерного остывания и нагревания. Благодаря этому на Земле не бывает резких переходов

от мороза к жаре, и наоборот. Если бы Земля не была окружена атмосферой, то в течение одних суток амплитуда колебаний температуры поверхности нашей планеты достигала бы 200 °С: днем стояла бы сильнейшая жара (более 100 °С), а ночью – мороз (до –100 °С). В действительности средняя температура Земли благодаря атмосфере составляет около 15 °С;

- спасает все живущее на Земле от губительного рентгеновского, космического и УФ-излучения. Верхние слои атмосферы его частично поглощают и частично рассеивают;

- защищает Землю от «звездных осколков». Размеры метеоритов в подавляющем большинстве не превышают величины горошины. С огромной скоростью (от 11 до 64 км/с) они под влиянием земного притяжения врезаются в атмосферу планеты. При этом они разогреваются и раскаляются за счет трения о воздух и на высоте около 60–70 км большей частью сгорают;

- определяет световой режим Земли, рассеивает солнечные лучи и создает равномерное освещение, к которому привык человек;

- придает нашему небу голубой цвет, так как молекулы основных элементов воздуха рассеивают главным образом солнечные лучи с короткой длиной волны, т.е. фиолетовые, синие и голубые;

- является той средой, где распространяются звуки, так как без воздуха на Земле царил бы тишина;

- при взаимодействии с солнечным ветром участвует в образовании магнитосферы и дополнительного магнитного поля Земли за счет ионизации атомов и молекул атмосферы (ионосферы) на высоких широтах;

- является передаточной средой, через которую поступает солнечная радиация – радиоволны, инфракрасное (ИК) излучение, видимый свет, УФ-излучение;

- обеспечивает сохранение и перераспределение на Земле воды;

- оказывает существенное влияние на многие энергетические, геологические и гидрологические процессы, происходящие на поверхности Земли;

- является резервуаром, где осуществляется массоэнергетический обмен между живой и неживой природой;

- служит источником питания для некоторых организмов (некоторые микроорганизмы усваивают азот атмосферы; из углекислого газа и воды растения синтезируют органические вещества);

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	3
Предисловие	6
Глава 1. Охрана атмосферного воздуха	10
1.1. Атмосфера, ее строение, состав и значение для биосферы	10
1.2. Основные принципы и направления защиты атмосферы	21
1.3. Правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха и озонового слоя	26
1.4. Мониторинг атмосферного воздуха и озонового слоя	36
1.5. Экономические инструменты в области охраны атмосферного воздуха	42
1.6. Вред, причиненный окружающей среде, и порядок его возмещения	48
Глава 2. Загрязнение воздуха и рассеивание примесей в атмосфере ..	53
2.1. Источники загрязнения атмосферного воздуха	53
2.2. Вентиляционные источники выбросов	57
2.3. Особенности рассеивания загрязняющих веществ	61
2.4. Трансформация загрязняющих веществ в атмосфере	71
2.5. Физическое загрязнение атмосферы	77
2.6. Состояние загрязнения атмосферного воздуха	87
Глава 3. Инвентаризация источников выбросов и учет в области охраны атмосферного воздуха	91
3.1. Инвентаризация источников выбросов	91
3.2. Инструментальный контроль выбросов загрязняющих веществ	104
3.3. Основные принципы расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере	117
3.4. Учет и контроль в области охраны атмосферного воздуха ..	126
3.5. Государственный кадастр атмосферного воздуха	132
Глава 4. Государственное регулирование охраны атмосферного воздуха	137
4.1. Общие сведения	137
4.2. Нормирование качества атмосферного воздуха	138
4.3. Нормирование шума и вибрации	142
4.4. Нормирование электромагнитного воздействия	147
4.5. Нормирование поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух	149
4.5.1. Категорирование объектов воздействия на атмосферу ..	149
4.5.2. Нормативы допустимых выбросов	153

Глава 5. Технология и техника защиты атмосферного воздуха	158
5.1. Основы газоочистки.	158
5.2. Основные требования при эксплуатации газоочистных установок	162
5.3. Пылеулавливание.	166
5.4. Обработка газовоздушных выбросов.	205
5.4.1. Очистка	207
5.4.2. Обезвреживание	217
5.4.3. Дезодорация и обеззараживание	221
5.5. Особенности выбора метода обработки газовоздушных выбросов	237
Глава 6. Защита воздушного бассейна от выбросов транспортных средств	244
6.1. Общие сведения	244
6.2. Организационные мероприятия по снижению валовых выбросов автотранспорта.	250
6.3. Технологические мероприятия	260
6.4. Санитарно-технические и архитектурно-планировочные мероприятия.	263
6.5. Очистка и обезвреживание вентиляционных выбросов транспортных инженерных сооружений.	270
Глава 7. Защита атмосферного воздуха от выбросов предприятий теплоэнергетики	280
7.1. Характеристика выбросов загрязняющих веществ от теплоэнергетических производств.	280
7.2. Методы снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.	283
Глава 8. Охрана атмосферного воздуха на перерабатывающих предприятиях агропромышленного комплекса	298
8.1. Характеристика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.	298
8.2. Защита атмосферного воздуха от воздействия пищевых производств	313
Глава 9. Защита атмосферного воздуха от физических воздействий	324
9.1. Общие сведения об акустике и расчет шума	324
9.2. Основные методы и средства защиты от шума	329
9.3. Шумовиброзащитные конструкции	335
9.4. Современные средства шумозащиты	338
9.5. Средства и методы защиты от воздействия электромагнитных полей	344

9.5.1. Общие сведения.	344
9.5.2. Расчет и защита от электромагнитных полей.	346
Глава 10. Градостроительные способы снижения воздействия вредных факторов на атмосферный воздух	350
10.1. Функциональные зоны территории населенных пунктов и экологические требования к их организации	350
10.2. Санитарно-защитные зоны предприятий	359
10.3. Фитомелиорация	369
10.3.1. Очистка и санация воздуха	369
10.3.2. Защита от физических факторов (шума).	375
Предметный указатель	386
Литература	393

Учебное издание

Челноков Александр Антонович
Мирончик Александр Федорович
Жмыхов Иван Николаевич

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Учебное пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.В. Кульнис*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*

Подписано в печать 11.08.2016. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.
Гарнитура «Ньютон». Офсетная печать. Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 22,1.
Тираж 800 экз. Заказ 1989.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Республиканское унитарное предприятие
«Издательство “Белорусский Дом печати”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/102 от 01.04.2014.

Пр. Независимости, 79, 220013, Минск.