

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра экологии

**И. А. Телеш**

## **ЗЕМЛЯ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области  
информатики и радиоэлектроники в качестве  
пособия для специальности 1-39 03 02  
«Программируемые мобильные системы»*

Минск БГУИР 2016

УДК 502.5(076)  
ББК 20.1я73  
Т31

Рецензенты:  
кафедра географической экологии  
Белорусского государственного университета  
(протокол №9 от 17.03.2015);

доцент кафедры физической географии учреждения образования «Белорусский  
государственный педагогический университет имени Максима Танка»,  
кандидат географических наук, доцент  
О. Ю. Панасюк

**Телеш, И. А.**

Т31 Земля, окружающая среда и ее глобальные изменения : пособие /  
И. А. Телеш. – Минск : БГУИР, 2016. – 74 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-165-8.

Представлены задания для практических занятий с методическими указаниями к решению задач. Тематика практических занятий направлена на изучение и закрепление знаний о базовых понятиях рационального природопользования, природно-антропогенных особенностей компонентов окружающей среды, актуальных вопросов экологического состояния территорий, техногенного загрязнения окружающей среды и минимизации его возможных последствий.

**УДК 502.5(076)**  
**ББК 20.1я73**

**ISBN 978-985-543-165-8**

© Телеш И. А., 2016  
© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Природно-антропогенные особенности литосферы и возможные последствия освоения недр</b> .....	5
<b>Практическое занятие 1. Использование минеральных ресурсов и экологические последствия преобразования недр</b> .....	10
<b>2. Природно-антропогенные особенности атмосферы</b> .....	14
<b>Практическое занятие 2. Источники и важнейшие компоненты антропогенного загрязнения атмосферы</b> .....	16
<b>3. Природно-антропогенные особенности гидросферы</b> .....	22
<b>Практическое занятие 3. Изучение особенностей загрязнения водотока</b> .....	24
<b>4. Очистка сточных вод</b> .....	31
<b>Практическое занятие 4. Определение степени очистки сточных вод</b> .....	32
<b>5. Экологические аспекты природопользования и проблемы использования ресурсов биосферы</b> .....	37
<b>Практическое занятие 5. Экологические проблемы использования ресурсов биосферы</b> .....	40
<b>6. Техногенное загрязнение окружающей среды</b> .....	46
<b>Практическое занятие 6. Техногенное загрязнение окружающей среды от сжигания топлива в котельных и ТЭС</b> .....	47
<b>7. Загрязнение воздушной среды промышленного предприятия</b> .....	54
<b>Практическое занятие 7. Определение валового выброса аэрозолей в воздухе предприятия при нанесении лакокрасочных материалов</b> .....	54
<b>8. Шумовое загрязнение окружающей среды и его воздействие на человека</b> .....	60
<b>Практическое занятие 8. Определение уровня шума от транспортного потока</b> .....	63
<b>9. Твердые бытовые отходы и их влияние на окружающую среду</b> .....	65
<b>Практическое занятие 9. Определение основных показателей полигонов твердых бытовых отходов</b> .....	70
<b>Литература</b> .....	73

## Введение

Важнейшей проблемой современности является процесс оптимизации взаимодействия человека и природы, который включает всесторонний анализ окружающей среды, различных видов хозяйственной деятельности человека, технологически совершенное использование природных ресурсов, защиту природных комплексов от чрезмерной антропогенной нагрузки, проведение мониторинга окружающей среды и др. В связи с этим для комплексного решения проблем в области рационального природопользования и охраны окружающей среды необходимо совершенствовать систему подготовки специалистов широкого профиля, способных в соответствующей обстановке применять полученные знания.

Данное пособие разработано в соответствии с типовой и рабочей учебными программами по дисциплине «Земля, окружающая среда и ее глобальные изменения», цель изучения которой направлена на рассмотрение различных подходов к изучению изменений окружающей среды, происходящих в ходе естественных тенденций ее развития и антропогенного воздействия, экологических аспектов функционирования природных и природно-антропогенных систем, на анализ глобальных экологических проблем человечества, а также возможные пути их решения.

В пособии содержатся необходимые общие теоретические сведения, основу которых составляют фундаментальные географические, биологические, экологические и геоэкологические понятия. Изучение закономерностей развития окружающей среды в неразрывном единстве слагающих ее компонентов, основанных на принципах рационального природопользования и современных направлений охраны окружающей среды, позволит студентам овладеть элементами научного мышления на основе методологии естественных наук, познать закономерности существования природы, процессы ее внутреннего и внешнего взаимодействия, а также занять активную жизненную позицию в сфере улучшения экологической ситуации и преодоления экологического кризиса.

Для закрепления теоретических знаний подробно представлены задания для практических занятий с методическими указаниями к решению задач, а также вопросы для самоконтроля и варианты заданий для самостоятельной работы.

Особое внимание обращено на формирование у студентов связи научных знаний и практических навыков в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

## 1. ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТОСФЕРЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСВОЕНИЯ НЕДР

*Литосфера* представляет собой верхнюю твердую оболочку планеты толщиной от 50 до 200 км, имеющую большую прочность и переходящую без определенной резкой границы в нижележащую астеносферу. Сверху литосфера ограничивается гидросферой и атмосферой, частично проникающими в нее. Литосфера является геологической основой ландшафта, почв, средой обмена веществом и энергией с атмосферой и поверхностной гидросферой, через нее осуществляется круговорот воды в природе. Она служит накопителем пресных вод, входящих в структуру наземной биоты (совокупность живых организмов, объединенных общей областью распространения), обеспечивая процессы ее жизнедеятельности. Литосфера – среда сосредоточения природных минеральных ресурсов, необходимых для функционирования и развития человечества. В связи с этим свойства литосферы требуют особого рассмотрения в первую очередь с позиции ее экологических функций как продукта природного и техногенного развития верхней части земной коры.

Все экологические функциональные зависимости между природной и техногенно преобразованной литосферой, с одной стороны, и биотой и человечеством, с другой, можно свести к четырем основным группам: ресурсной, геодинамической, геофизической, геохимической. При этом следует учитывать, что экологические функции литосферы и их современная выраженность обусловлены эволюционным развитием Земли под воздействием природных и техногенных факторов. На фоне эволюции природных сред в геологической истории Земли можно выделить два основных временных этапа. *Первый этап* – природный – охватывает временной период от зарождения жизни на Земле (около 3,5 млрд лет назад) до появления человеческой цивилизации, и *второй этап* – природно-техногенный, охватывающий временной интервал порядка 200 лет и являющийся главным образом порождением техногенеза.

Ресурсы литосферы на первом из этих этапов характеризовались накопительной функцией, сделавшей возможным эволюционное развитие органического мира, но и создавшей материальный базис для появления человеческой цивилизации. Со вторым, природно-техногенным, этапом развития связано коренное изменение сущности ресурсной функции. Период накопления многих ресурсов сменился периодом интенсивного и прогрессирующего их потребления, в том числе и ресурсов невозобновляемых.

Выделяют следующие функции литосферы:

1. *Ресурсная функция* – это способность литосферы обеспечивать потребности биоты минеральными органическими и органоминеральными ресурсами. Ресурсная функция литосферы состоит в образовании различных веществ, в том числе и полезных ископаемых. Но перспектива за возобновляемыми видами энергии: энергии воды, ветра, геотермальной энергии, солнечной и атомной энергии.

2. *Геодинамическая функция* отражает свойство литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные геологические процессы и явления. К неблагоприятным природным и антропогенным геологическим процессам относятся: землетрясения, извержения вулканов, цунами, оползни, сели, лавины, отвалы и провалы. Также на изменение условий проживания человека могут влиять такие процессы, как: дефляция и ветровая эрозия, заболачивание, деградация мерзлоты, термокарст, суффозия.

3. *Геохимическая функция* отражает свойство геохимических полей (неоднородностей) природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом и на здоровье человека в частности. Геохимические неоднородности литосферы – это геохимические зоны и геохимические аномалии. Геохимические неоднородности литосферы делятся на *литохимические*, обусловленные составом горных пород, почв, донных осадков, техногенных грунтов; *гидрохимические* – подземных вод; *атмохимические* – газовым составом почв, горных пород, подземных вод; *сноухимические* – снегового покрова; *биохимические* – биоты. По генезису среди геохимических неоднородностей литосферы следует выделять: *природные* (естественно-исторические), сформировавшиеся в ходе геологической жизни планеты; *природно-техногенные* (новообразованные), формирование которых произошло в эпоху техногенеза вследствие использования высокоотходных технологий при низком уровне внедрения защитных мероприятий.

Зоны техногенного загрязнения чаще всего связаны с извлечением из недр Земли токсичных элементов, накоплением в процессе переработки первичного минерального сырья высокотоксичных подвижных соединений. В ряде случаев зоны загрязнения связаны с небрежным хранением и технологически необоснованным использованием в сельском хозяйстве химических соединений, ядохимикатов. Специфические многокомпонентные и высокотоксичные загрязнения территории формируются в местах захоронения промышленных и бытовых отходов. Особую опасность для биоты и здоровья людей представляют собой зоны загрязнения, связанные с авариями на промышленных объектах (прорывы ограждающих дамб со сбросом токсичных отходов в реки и водоемы, аварии на продуктопроводах и емкостях хранения и т. д.).

Выделяются три пути воздействия химических элементов литосферы на биоту и человека: *воздушный* – через попадание токсикантов в виде газа или аэрозолей в организм человека; *водный* – через подземные воды, употребляемые для питьевого водоснабжения; *пищевой* – через трофическую цепь от загрязненных растений к животным и человеку.

4. *Геофизическая функция* отражает совокупность свойств геофизических полей литосферы, влияющих на состояние биоты и человека.

Геофизические поля делятся на следующие виды: гравитационное (поле силы тяжести); магнитное; электрического тока (постоянного, переменного и медленно меняющегося); температурное; сейсмическое (поле упругих механических колебаний); радиационное (поле ионизирующего излучения).

Аномалии геофизических полей связаны с зонами тектонических нарушений, повышенной трещиноватостью, погребенными речными долинами, рифтовыми структурами и другими неоднородностями литосферы, влияющими на биоту.

Верхняя часть литосферы, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосферы, в настоящее время подвергается возрастающему антропогенному воздействию. Разработка недр оказывает вредное воздействие практически на все компоненты окружающей природной среды и ее качество в целом (рис. 1.1).

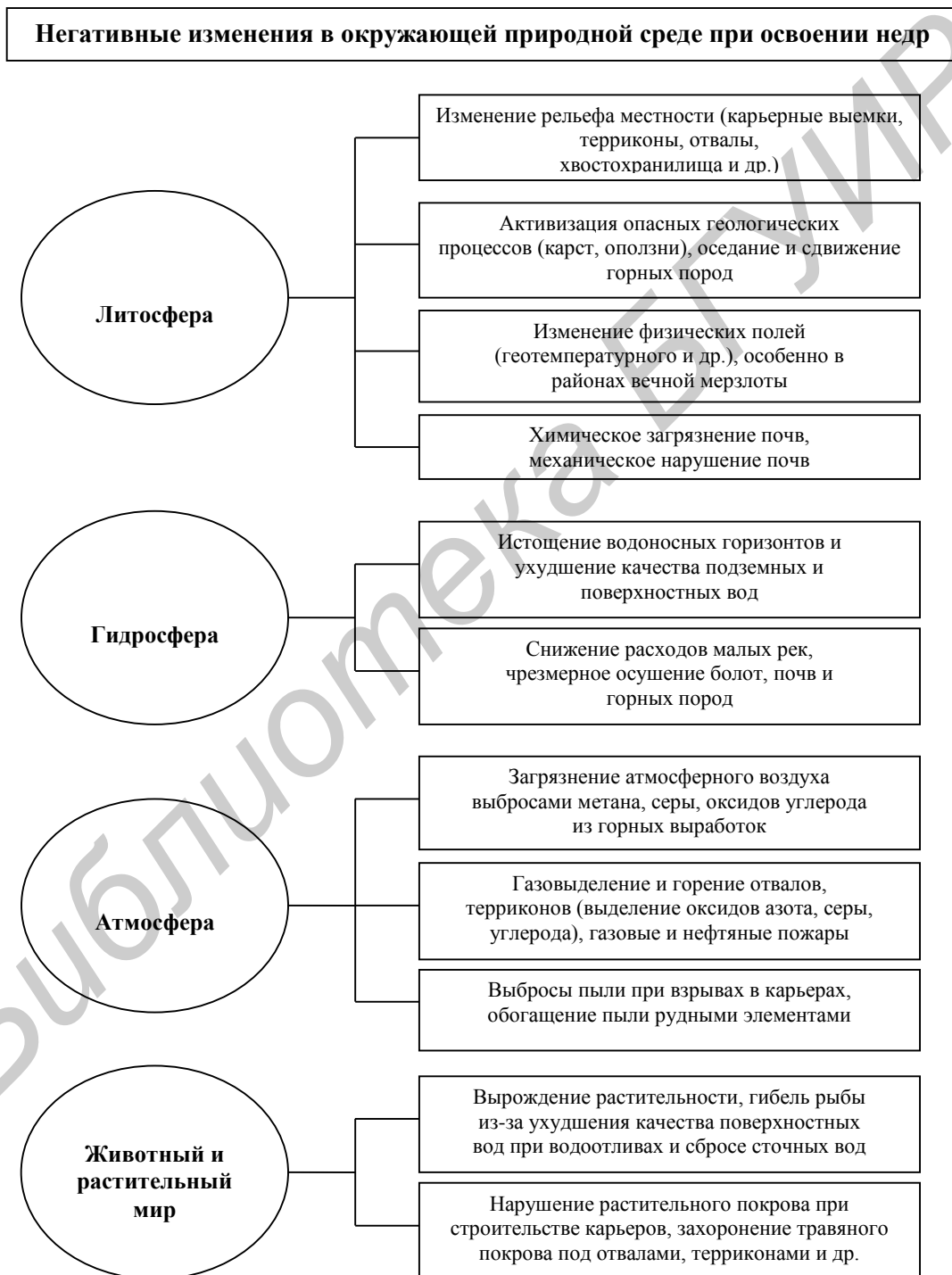


Рис. 1.1. Экологические последствия разработки недр

*Недрами* называют верхнюю часть земной коры, в пределах которой возможна добыча ископаемых. Основное природное богатство недр – минерально-сырьевые ресурсы, т. е. совокупность полезных ископаемых, заключенных в них. Добыча (извлечение) полезных ископаемых с целью их переработки – главная цель пользования недрами. Недра – источник не только минеральных ресурсов, но и огромных энергетических запасов. В среднем из недр к поверхности поступает  $32,3 \cdot 10^{12}$  Вт геотермальной энергии.

Техногенным изменениям подвергаются составляющие литосферы: горные породы и их массивы и недра.

В процессе инженерно-хозяйственной деятельности человека горные породы, слагающие верхнюю часть земной коры, в той или иной степени подвергаются сжатию, растяжению, сдвигению, водонасыщению, осушению, вибрации и другим воздействиям. Изменения, происходящие в породах при различных воздействиях, требуют детального изучения. Это необходимо для прогноза возможного развития опасных геологических процессов, негативно влияющих на экологическую обстановку.

К числу основных антропогенных воздействий на породы относятся: статические и динамические нагрузки, тепловое воздействие, электрические воздействия и др.

*Статические нагрузки* – наиболее распространенный вид антропогенного воздействия на горные породы, под действием которых от зданий и сооружений, достигающих 2 МПа и более, образуется зона активного изменения горных пород, достигающая глубин 70–100 м. При этом наибольшие изменения наблюдаются в вечномерзлых льдистых породах, на участках залегания которых часто наблюдаются оттаивание, пучение и другие процессы, в сильно сжимаемых породах, например заторфованных, илистых и др.

*Динамические нагрузки.* Вибрации, удары, толчки и другие динамические нагрузки типичны при работе транспорта, ударных и вибрационных строительных машин, заводских механизмов и т. д. Наиболее чувствительны к сотрясению рыхлые недоуплотненные породы (пески, водонасыщенные лессы, торф и др.). Прочность этих пород заметно снижается, они уплотняются (равномерно или неравномерно), структурные связи нарушаются, возможно внезапное образование оползней, отвалов и других неблагоприятных процессов.

Другим видом динамических нагрузок являются взрывы, действие которых сходно с сейсмическими воздействиями. Горные породы разрушают взрывным способом при строительстве автомобильных и железных дорог, гидротехнических плотин, добыче полезных ископаемых и т. д. Очень часто взрывы сопровождаются нарушением природного равновесия – возникают оползни, обвалы.

*Тепловое воздействие.* Повышение температуры горных пород наблюдается при подземной газификации углей, в основании доменных печей и др. В ряде случаев температура пород повышается до 40 °С, а иногда и до 100 °С и более (в основании доменных печей). В зоне подземной газификации углей при



температуре 1000–1600 °С породы спекаются, «каменеют», теряют свои первоначальные свойства. Как и другие виды воздействия, тепловой антропогенный поток влияет не только на состояние горных пород, но и на изменение почв, подземных вод, растительности.

*Электрическое воздействие.* Создаваемое в горных породах искусственное электрическое поле (электрифицированный транспорт, ЛЭП и др.) порождает блуждающие токи и поля. Наиболее заметно они проявляются на городских территориях, где имеется наибольшая плотность источников электроэнергии. При этом изменяются электропроводность, электросопротивляемость и другие электрические свойства пород.

Динамическое, тепловое и электрическое воздействия на горные породы создают физическое загрязнение окружающей природной среды.

Массивы горных пород в ходе инженерно-хозяйственного освоения подвергаются мощному антропогенному воздействию, при котором развиваются оползни, карст, подтопление, просадочные процессы и др.

*Оползни* представляют собой скольжение горных пород вниз по склону под действием собственного веса грунта и фильтрационной, сейсмической или вибрационной нагрузки. Для оползней характерно отсутствие вращения и опрокидывания смещающихся масс. Часто встречаются на склонах долин рек, оврагов, берегов морей. Большой ущерб природной среде ежегодно приносят оползневые процессы на берегах Черноморского побережья Кавказа, Крыма, в долинах Волги, Днепра, Дона и многих других рек и горных районов. Оползни нарушают устойчивость массивов горных пород, поверхностный сток, истощают ресурсы подземных вод при их вскрытии, образуют заболоченности, нарушают почвенный покров и т. д. Известно немало примеров оползней, приводящих к человеческим жертвам.

*Карст* – геологическое явление, связанное с растворением водой горных пород (известняков, доломита, гипса, каменной соли) и образованием при этом подземных пустот (пещер и др.), которое сопровождается провалом земной поверхности. Массивы горных пород, в которых развивается карст, называются закарстованными. Карст широко распространен, в частности, в Башкирии, в центральной части Русской равнины, на Северном Кавказе и во многих других местах, где имеются растворимые горные породы. Хозяйственное освоение закарстованных массивов горных пород ведет к существенному изменению природной среды. Карстовые процессы в последнее время заметно оживляются: образуются новые провалы, воронки, колодцы и др. Отдельные воронки достигают 50–60 м в диаметре и до 30 м глубиной. Образование провалов и воронок связывают с интенсификацией отбора подземных вод. Однако интенсивный отбор подземных вод, а также динамические вибрационные воздействия транспорта и строительства, статические нагрузки и другие факторы (возможно, загрязнение подземных вод) заметно усилили эти процессы.

Одним из важных направлений в сохранении окружающей природы является охрана карстовых пещер. При массовых туристских посещениях в них

нарушается тепловой и водный режим, наблюдается «таяние» сталактитов и сталагмитов, другие негативные изменения геологической среды.

*Подтопление.* Под подтоплением понимают любое повышение уровня грунтовых вод до критических величин (менее 1-2 м от поверхности земли). Массивы горных пород переувлажняются и заболачиваются. Активизируются оползни, карст и другие неблагоприятные процессы. В лессовых глинистых грунтах (лёсс – осадочная горная порода, неслоистая, суглинисто-супесчаная, имеет светло-желтый или палевый цвет; залегает на водоразделах, склонах и древних террасах долин) возникают просадки, в глинах – набухание. Просадка в лессовых грунтах приводит к резкой неравномерной осадке, а набухание в глинах – к неравномерному подъему зданий и сооружений. В результате сооружения испытывают деформации, вплоть до полной непригодности к эксплуатации. Это ухудшает экологическую обстановку в жилых и производственных помещениях, что снижает производительность труда и даже может вызвать травмы и болезни у людей.

Причины подтопления разнообразны, но практически всегда связаны с деятельностью человека. Это утечки воды из подземных водонесущих коммуникаций; засыпка естественных оврагов; асфальтирование и застройка территории; нерациональный полив улиц, садов, скверов; фильтрация из водохранилищ, прудов – охладителей АЭС и др.

*Вечная мерзлота.* В ряде районов земного шара (север Европы и Америки) толщи верхней части земной коры постоянно находятся в мерзлом состоянии. Их температура всегда ниже 0 °С. Такие породы называют многолетнемерзлыми, а территорию – областью вечной мерзлоты. Происхождение вечной мерзлоты связывают с оледенением четвертичного периода. В районах вечной мерзлоты в ходе антропогенной деятельности разрушается почвенно-растительный слой, изменяется рельеф, режим снегового покрова, возникают болота, нарушаются взаимосвязи и взаимодействия экосистем.

Эндогенные геодинамические процессы – землетрясения и вулканизм – вызывают весьма значительные смещения в массивах горных пород в земной коре, уничтожают животный и растительный мир, приводят к многочисленным, нередко к катастрофическим человеческим жертвам и другим тяжелым экологическим последствиям.

Непрерывный рост потребления минерального сырья повышает значение научно обоснованного эффективного использования полезных ископаемых, требует принятия мер по рациональному использованию недр и их охране.

## **Практическое занятие 1**

### **Использование минеральных ресурсов и экологические последствия преобразования недр**

**Цель занятия:** определить содержание полезных компонентов в извлекаемой породе (руде) с учетом коэффициента извлечения.

Как вид природных ресурсов минеральные ресурсы характеризуются определенными особенностями: невозобновимостью; необходимостью значительных затрат на восстановление природной среды и решение социальных проблем после завершения эксплуатации месторождений; необходимостью значительных затрат по разведке новых месторождений, а также по вводу их в эксплуатацию; существенным воздействием на природную среду в процессе разведки и эксплуатации месторождений.

Экономическая оценка минеральных ресурсов должна проводиться с учетом их особенностей, а также с учетом возможностей извлечения максимально большего количества компонентов на оцениваемом месторождении. Такая оценка месторождений минеральных ресурсов необходима на всех стадиях: разведки, ввода в эксплуатацию, эксплуатации. Так, при проведении геологоразведочных работ необходимо определить целесообразность дальнейших работ на месторождении, а также обоснование целесообразности разработки месторождения, отнесение запасов к балансовым или забалансовым. Оценки эти на разных стадиях характеризуются различной степенью точности, проводятся с применением различных методов (с различной степенью деятельности).

*Балансовыми* являются запасы, использование которых экономически целесообразно при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике, технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований по рациональному использованию недр на охране. *Забалансовые* – запасы, использование которых экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно в настоящее время, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые.

Классификации твердых полезных ископаемых на стадии детальной разведки предполагают деление их на запасы категорий А, В и С и прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых. Запасы категории С<sub>2</sub> (предварительно оцененные), как и забалансовые запасы, рассматриваются при оценке возможности дальнейшего развития горнодобывающего предприятия, при выборе территории для размещения отвалов пород, хвостохранилищ, застройки объектами производственного, жилищного, социального и культурно-бытового назначения и др.

Одним из первых этапов экономической оценки месторождений становится анализ на стадии геологоразведочных работ. При этом оцениваются такие характеристики минерального сырья, как средние содержания (полезных компонентов в извлекаемой породе), а также анализ правильности подсчета запасов. Степень извлечения из недр во многом определяется технологией отработки запасов. Традиционно степень извлечения запасов из недр составляет 85–90 % для твердых полезных ископаемых. Для месторождений нефти степень извлечения еще более низка (крайне редко 70 % и более, обычно – около 40 %).

*Разубоживание* («разбавление») руды пустыми вмещающими породами обусловлено технологией разработки месторождений. В процессе разработки к богатым рудам добавляются бедные руды, а также стерильные породы (рис. 1.2).

В результате содержание полезных компонентов в добытой руде оказывается ниже, чем в геологических запасах. При этом количество извлекаемых из недр запасов оказывается выше геологических запасов. Обычно величина разубоживания составляет от 5 до 30 %. Снижение величины разубоживания – одна из важнейших технологических задач, решение которой позволяет повысить эффективность разработки месторождений.

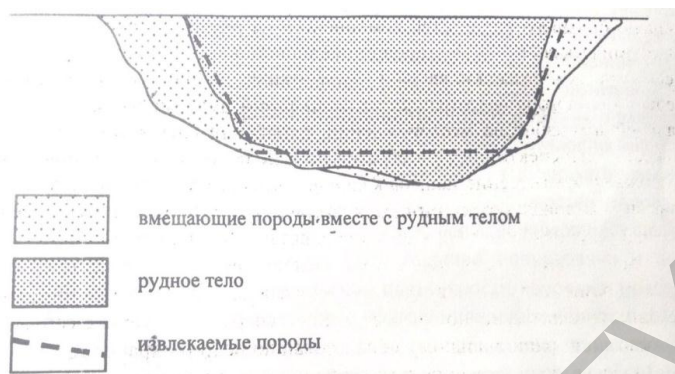


Рис. 1.2. Разубоживание пород

### Методические указания к выполнению задания

Содержащийся в руде металл не полностью может быть извлечен из нее в процессе обогащения. В частности, при добавлении руды потери полезных компонентов связаны с тем, что часть их остается в хвостах обогащений. Доля извлекаемого компонента определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{конц}} \cdot (C_{\text{руд}} - C_{\text{хвост}})}{C_{\text{руд}} \cdot (C_{\text{конц}} - C_{\text{хвост}})}, \quad (1.1)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент извлечения, доли ед.;

$C_{\text{конц}}$  – содержание компонентов в концентрате, % или г/т;

$C_{\text{руд}}$  – содержание компонента в руде, % или г/т;

$C_{\text{хвост}}$  – содержание компонента в хвостах, % или г/т.

Полученный показатель, коэффициент извлечения металла из руды при обогащении, используется при расчете валового дохода предприятия. При этом в оценках месторождений используются лабораторные данные относительно состава руды либо данные о соседних, сходных по условиям, месторождениях.

Коэффициент обогащения (KF) отражает массу руды, необходимую для получения 1 т концентрата:

$$KF = \frac{C_{\text{конц}}}{C_{\text{руд}} \cdot \varepsilon}. \quad (1.2)$$

Коэффициент извлечения массы (MF) – величина, обратная KF, показывает долю руды, извлекаемой в концентрат:

$$MF = \frac{1}{KF} = \frac{C_{\text{руд}} \cdot \varepsilon}{C_{\text{конц}}}. \quad (1.3)$$

На практике величина MF может использоваться при расчетах расходов на транспортировку сырья – в этом случае учитывается производительность рудника по руде, транспортные тарифы и коэффициент извлечения массы.

**Задание.** По данным табл. 1.1 и 1.2 определить коэффициент извлечения компонентов при обогащении и коэффициент извлечения массы руды.

Таблица 1.1

Содержание компонентов в руде

Вариант	Среднее содержание металлов в руде в недрах, г/т									
	Co	Ni	Cr	V	Zr	Sb	Ba	Sr	Li	Rb
1	27	52	87	127	144	21	441	296	17	34
2	9	24	49	52	240	6,6	1664	249	19	109
3	34	143	50	355	159	20	252	145	12	17
4	19	59	11	85	141	17	534	294	13	36
5	18	51	126	96	272	26	917	194	25	82
6	4,7	15	25	17	113	5	1275	283	7	96
7	5,3	13	15	36	159	4	1833	283	7	129
8	2,4	5	7	33	250	6	3780	350	3	324
9	6,0	58	18	73	250	8	718	345	11	47
10	5,5	14	16	48	17	22	2120	290	6	324

Таблица 1.2

Сведения об условиях добычи и переработки руды

Вариант	Содержание в концентрате, %	Содержание в хвосте, %
1	92	8
2	93	10
3	88	9
4	91	7
5	87	13
6	89	5
7	91	6
8	90	8
9	88	10
10	93	8

### Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте экологические функции литосферы.
2. Что понимают под физическим загрязнением окружающей среды? Почему разработка недр оказывает негативное воздействие на окружающую среду?
3. Каковы особенности техногенного преобразования недр? Назовите экологические последствия разработки недр.
4. Перечислите эндогенные геологические процессы. В чем заключается их опасность?
5. Что такое минеральные ресурсы? Какое значение имеет экономическая оценка минеральных ресурсов? Объясните значение процесса разубоживания руды.

## 2. ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ

Атмосфера является составной частью биосферы и представляет собой газообразную оболочку Земли. Она защищает земную поверхность от воздействия метеоритов. Задерживая жесткое космическое излучение, она обеспечивает существование органической жизни на планете. Воздушная оболочка влияет на тепловой баланс Земли, распределение тепла и влаги на земной поверхности. Атмосфера обладает способностью к самоочищению, которая обусловлена вымыванием аэрозолей осадками, турбулентным перемешиванием приземного слоя воздуха, осаждением загрязненных веществ на земной поверхности и др. Циркуляция атмосферы влияет на местные климатические условия, а через них – на режим рек, почвенно-растительный покров и на процессы рельефообразования.

Азот в атмосфере является разбавителем кислорода и регулирует интенсивность окисления и биологических процессов, участвует в биологическом круговороте веществ. Свободный кислород атмосферы необходим для дыхания организмов и окислительных процессов. В верхних слоях атмосферы, начиная со стратосферы, происходят различные фотохимические реакции, приводящие к образованию озона, диссоциации молекул кислорода, азота и других газов и к ионизации атмосферы. Озон поглощает ультрафиолетовые лучи и предохраняет организмы от их губительного воздействия. Наличие атмосферы определяет общий тепловой режим поверхности планеты, защищает ее от вредных космического и ультрафиолетового излучений. Диоксид углерода – «утеплитель» Земли: он пропускает солнечную радиацию к земной поверхности, но задерживает ее тепловое излучение. Углекислый газ используется растениями для образования органического вещества, изменчивое содержание которого связано с жизнедеятельностью живых организмов, его растворимостью в морской воде и деятельностью человека (промышленные и транспортные выбросы).

Масса атмосферы составляет одну миллионную долю массы земного шара. Половина ее находится в нижних 5 км от поверхности Земли, три четверти – в 10 км. Атмосфера имеет четко выраженное слоистое строение и состоит из тропосферы, стратосферы, мезосферы, термосферы и экзосферы. Нижней границей атмосферы считается поверхность литосферы и гидросферы. Воздух заполняет трещины и поры земной коры, насыщает гидросферу. Верхняя граница атмосферы четко не просматривается, т. к. плотность воздуха постепенно уменьшается, атмосфера постепенно переходит в межпланетное пространство. Верхние слои атмосферы ионизированы. В них наблюдаются полярные сияния и магнитные бури.

Одна из главных составляющих атмосферы – водяной пар, который сосредоточен преимущественно в тропосфере. Как и углекислый газ, водяной пар атмосферы тоже утеплитель Земли. В результате конденсации влаги в атмосфере образуются облака. Они могут состоять из капель воды, кристаллов

льда и быть смешанными в зависимости от температуры воздуха. Пока облака малы и легки, их поддерживают восходящие потоки воздуха, а укрупняясь, они выпадают на землю в виде осадков: дождя, снега, града и др. Так происходит непрерывный круговорот воды между земной поверхностью и атмосферой.

Атмосфера поглощает и рассеивает солнечную радиацию, сама излучает длинноволновую инфракрасную радиацию, поглощает инфракрасную радиацию земной поверхности и обменивается теплом с земной поверхностью путем теплопроводности и фазовых переходов воды.

Наряду с основными газами в атмосфере содержатся твердые частицы, поступающие с поверхности Земли (продукты горения, вулканической деятельности, частицы почвы) и из космоса (космическая пыль), а также различные продукты растительного, животного или микробного происхождения. Присутствуют в небольших количествах гелий, водород, метан, аммиак и др. Возникающие в атмосфере процессы и изменения ее газового состава, облачности, прозрачности и наличие в ней тех или иных аэрозольных частиц воздействуют на погоду и климат.

В связи с изменениями физических особенностей атмосферы происходят антропогенные трансформации ее газового состава, в совокупности создающие ряд серьезных экологических проблем. К их числу относятся антропогенное изменение климата и его последствия, нарушение естественного состояния озонового слоя, асидификация окружающей среды и локальное загрязнение атмосферы. Например, увеличение количества оксидов серы и азота в воздухе, их взаимодействия с атмосферной, почвенной и гидросферной влагой приводит к кислотным дождям. От автотранспорта и предприятий тяжелой металлургии в воздух попадают тяжелые металлы. Вредны выбросы химических и нефтехимических заводов. Особенно загрязнен воздух городов, где опасность представляют концентрации диоксида углерода и фреонов. Фреоны, широко применяемые в промышленности и быту, а также оксиды азота, выбрасываемые двигателями самолетов, могут до опасных пределов уменьшить концентрацию озона. Основная часть антропогенного диоксида углерода образуется в результате сжигания органического топлива и тем самым усиливает «тепличный эффект» атмосферы. При этом возможно повышение средней температуры воздуха у земной поверхности, что приведет к серьезным нарушениям глобальных природных процессов.

Крупномасштабные антропогенные изменения поверхности Земли (обезлесение, опустынивание, деградация внутренних морей и озер и др.) обуславливают изменения особенностей энергетического и водного режимов атмосферы. Локальные изменения состояния природно-территориальных комплексов, таких как возникновение и развитие городов, оросительных и других земледельческих систем, антропогенные преобразования пастбищ, возникновение водохранилищ, ведут к локальным изменениям климата.

## Практическое занятие 2

### Источники и важнейшие компоненты антропогенного загрязнения атмосферы

**Цель занятия:** изучить природные и антропогенные источники и компоненты загрязнения атмосферы, определить эффективность проведения мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения.

Под *загрязнением атмосферы* следует понимать любое изменение ее состава и свойств, оказывающее негативное воздействие на здоровье человека и состояние экосистем. Существует два источника загрязнения атмосферы: природный и антропогенный. К *природным источникам загрязнения* относятся извержения вулканов, пыльные бури, лесные пожары, пыль космического происхождения, продукты растительного, животного и микробиологического происхождения и др. Уровень такого загрязнения рассматривается в качестве фонового, который мало изменяется со временем. К основным *антропогенным источникам загрязнения* атмосферы относятся сжигание горючих ископаемых и топлива, предприятия топливно-энергетического комплекса, транспорта, различные машиностроительные предприятия.

По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются на *газообразные* (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды и др.), *жидкие* (кислоты, щелочи, растворы солей и др.), *твердые* (канцерогенные вещества, свинец и его соединения, органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и др.).

Наибольшую опасность представляют загрязнители атмосферного воздуха, образующиеся в процессе производственной деятельности человека. На их долю приходится около 98 % в общем объеме выбросов вредных веществ. В процессе сжигания твердого или жидкого топлива в атмосферу выделяется дым, содержащий продукты полного (диоксид углерод и пары воды) и неполного (оксиды углерода, серы, азота, углеводороды) сгорания. В результате работы котельных установок воздух загрязняется продуктами неполного сгорания. В процессе сталеплавильного производства в атмосферу выбрасываются парогазовые смеси, состоящие из фенола, формальдегида, бензола, аммиака и других веществ. Значительные выбросы отходящих газов и пыли, содержащих токсичные вещества, отмечаются на заводах цветной металлургии при переработке свинцово-цинковых, медных, сульфидных руд и др. Выбросы химического производства состоят из хлористых соединений, сероводорода, аммиака и др. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания содержат токсичные соединения бенз(а)пирена, оксидов азота и углерода и опасных соединений свинца. Интенсивное загрязнение воздуха отмечается при добыче и переработке минерального сырья, на нефте- и газоперерабатывающих заводах, при выбросе пыли и газов из подземных горных выработок, сжигании мусора и горении пород в отвалах (терриконах) и др. В сельских районах очагами



загрязнения атмосферного воздуха являются животноводческие фермы, промкомплексы по производству мяса, распыление пестицидов и т. д.

### Методические указания к выполнению задания

**Задание.** Рассчитать площадь зоны активного загрязнения (ЗАЗ) и оценить эффективность проведения природоохранных мероприятий по защите атмосферного воздуха для территории различных типов от загрязнения выбросами промышленного предприятия.

#### Расчет площади зоны активного загрязнения атмосферы

Зона активного загрязнения атмосферы для организованных источников высотой  $H > 10$  м представляет собой кольцо между окружностями с внутренним  $r_{\text{внутр}}$  и внешним  $r_{\text{внеш}}$  радиусами определяется согласно [2] по формулам

$$r_{\text{внутр}} = 2\varphi \cdot H, \quad (2.1)$$

$$r_{\text{внеш}} = 20\varphi \cdot H, \quad (2.2)$$

где  $H$  – высота источника;

$\varphi$  – поправка на тепловой подъем факела, которая рассчитывается по формуле

$$\varphi = 1 + \Delta t / 75, \quad (2.3)$$

где  $\Delta t$  – значение разности температуры выбрасываемой газовой смеси в устье источника и температуры окружающей среды (табл. 2.1).

Площадь внутреннего круга  $S_{\text{внутр}}$  равна

$$S_{\text{внутр}} = \pi \cdot r_{\text{внутр}}^2.$$

Площадь внешнего круга  $S_{\text{внеш}}$  равна

$$S_{\text{внеш}} = \pi \cdot r_{\text{внеш}}^2.$$

Площадь зоны активного загрязнения равна

$$S_{\text{ЗАЗ}} = S_{\text{внеш}} - S_{\text{внутр}}.$$

#### Расчет экономической эффективности мероприятий по защите атмосферы

Определить экономическую эффективность ( $E$ ) природоохранных мероприятий можно по формуле

$$E = (\mathcal{E} - \mathcal{З} - \mathcal{С}) / \mathcal{К}, \quad (2.4)$$

где  $\mathcal{С}$  – дополнительные эксплуатационные расходы, р/год;

$\mathcal{К}$  – единовременные капитальные вложения, р/год;

$\mathcal{З}$  – приведенные затраты на строительство и внедрение оборудования;

$\mathcal{Э}$  – предотвращенный годовой экономический ущерб после проведения атмосферозащитных мероприятий, который определяется как разность между

экономическим ущербом ( $Y_1$ ) до проведения мероприятий и экономическим ущербом ( $Y_2$ ) после их проведения:

$$\Delta = Y_1 - Y_2. \quad (2.5)$$

Приведенные затраты (3) на строительство и внедрение атмосферозащитного оборудования рассчитываются по формуле

$$З = С + E_n \cdot K, \quad (2.6)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; принимается равным 0,12 [2].

Расчет годового экономического ущерба в результате загрязнения атмосферы до проведения ( $Y_1$ ) и после проведения ( $Y_2$ ) защитных мероприятий рассчитывается следующим образом:

$$Y_1 = \gamma \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_1, \quad (2.7)$$

$$Y_2 = \gamma \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_2, \quad (2.8)$$

где  $\gamma$  – величина удельного ущерба от одной условной тонны выбросов, р/усл. т ( $\gamma = 2400$  р/усл. т);

$f$  – коэффициент, учитывающий характер и условия рассеивания выброшенных источником примесей;

$\sigma$  – коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях с различной плотностью и чувствительностью реципиентов;

$\mu_1, \mu_2$  – суммарная масса выбросов загрязняющих веществ, приведенная к единице токсичности, усл. т/год соответственно ( $\mu_1$  – до проведения и  $\mu_2$  – после проведения защитных мероприятий).

Значение коэффициента  $f$ , учитывающего характер и условия рассеивания примесей, определяется следующим образом:

1. Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц со скоростью оседания менее 1 см/с или при значении коэффициента очистки более либо равным 90 %:

$$f = \frac{100}{100 + \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}. \quad (2.9)$$

2. Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с или при значении коэффициента очистки более 70 % и менее 90 %:

$$f = \left( \frac{1000}{60 + \varphi \cdot H} \right)^{0.5} \cdot \frac{4}{1 + U}, \quad (2.10)$$

$$f = 10,$$

где  $H$  – высота источника, м;

$\varphi$  – поправка на тепловой подъем факела выбросов в атмосфере ( $\varphi$  рассчитывается по формуле (2.3));

$U$  – среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с.

Коэффициент  $\sigma$ , учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха (далее коэффициент относительной опасности загрязнения воздуха) определяем по табл. 2.2.

Суммарные массы выбросов загрязняющих веществ, приведенные к единой токсичности, определяются по формулам

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_1, \quad (2.11)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_2, \quad (2.12)$$

где  $N$  – общее число примесей, содержащихся в выбросах источника;

$A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -го вещества, усл. т/т (значение  $A_i$  для каждого вещества дано в табл. 2.3);

$m_1, m_2$  – массы годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/год (значения для каждого вещества даны в табл. 2.4:  $m_1$  – до установки и  $m_2$  – после установки систем очистки).

Следовательно, после выполнения задания необходимо сравнить рассчитанное значение общей экономической эффективности проведенных мероприятий по защите атмосферного воздуха  $E$  и нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$ , а также сделать заключение об эффективности (при  $E \geq E_n$ ) либо неэффективности (при  $E < E_n$ ) внедрения воздухозащитных мероприятий.

Таблица 2.1

Варианты заданий для самостоятельной работы

Параметр	Вариант данных для расчета							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Высота источника $H$ , м	150	90	70	50	120	100	80	60
Температура в устье источника $t_1$ , °C	110	150	90	130	70	110	170	140
Скорость оседания загрязнения, см/с	0,5	3	15	5	8	0,8	2	2,6
Температура окружающей среды $t_2$ , °C	20	30	10	20	30	10	20	30
Скорость ветра на уровне флюгера $U$ , м/с	3	4	5	3	7	2	0,5	4
Капиталовложения в очистное оборудование, млн р.	400	600	800	200	700	500	300	100
Эксплуатационные расходы, млн р./год	300	100	400	600	200	700	400	100

Таблица 2.2

Значения показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха на территории различных типов

Вариант	Тип загрязненной территории	$\sigma$ воздуха
1	Территории курортов, санаториев, заповедников	10
2	Территории природных зон отдыха, садовых и дачных участков	8
3	Центральная часть города	8
4	Территории промышленных предприятий и промузлов	4
5	Леса I группы (промышленное значение)	0,2
6	Леса II группы (рекреационное значение)	0,1
7	Пашни, прочие районы	0,1
8	Сады, виноградники обычные	0,5

Таблица 2.3

Значения показателя относительной агрессивности загрязняющего вещества ( $A_i$ )

№ п/п	Вещество	$A_i$ , усл. т/т
1	Оксид углерода	1
2	Аммиак	4,64
3	Ацетон	22,2
4	Диоксид кремния	83,2
5	Диоксид азота	17,9
6	Диоксид серы	16,5
7	Асбест	33,8
8	Кобальт металлический и его оксиды	1730
9	Марганец и его оксиды	7,5
10	Метилмеркоптан	2890
11	Неорганические соединения ртути, свинца	22 400
12	Никель и его оксиды	5475
13	Оксиды азота (по массе)	41,1
14	Оксиды алюминия	16,4
15	Оксид цинка	245
16	Сернистый газ	16,5
17	Сероводород	41,1
18	Фенол	170
19	Хлор	89,4
20	Цианистый водород	282
21	Древесная пыль, цемент	19,6

**Влияние систем очистки на количество выбросов  
промышленного предприятия**

Вариант	Наименование вещества	Масса выброса, т/год	
		до установки систем очистки (m <sub>1</sub> )	после установки систем очистки (m <sub>2</sub> )
1	Аммиак	40	10
	Сернистый газ	30	10
	Диоксид серы	30	8
2	Оксид углерода	64	22
	Метилмеркоптан	18	3
	Оксид азота	60	21
3	Сероводород	21	9
	Диоксид кремния	32	8
	Никель	1	0,77
4	Оксид алюминия	44	12
	Цемент	128	45
	Диоксид серы	37	8
5	Цианистый водород	4	1,5
	Диоксид кремния	14	3
	Сероводород	29	21
6	Ацетон	65	21
	Диоксид серы	38	7
	Соединения свинца	0,6	0,33
7	Фенол	24	9
	Оксид марганца	12	3
	Никель	1,3	0,77
8	Оксид углерода	64	28
	Хлор	120	53
	Оксид цинка	60	21

**Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите основные особенности и функции атмосферы. Каково значение водяного пара в атмосфере?
2. Объясните изменения физических особенностей атмосферы. Чем обусловлены антропогенные трансформации ее газового состава?
3. Что такое парниковый или «тепличный» эффект? Какая связь существует между парниковым эффектом и запыленностью атмосферного воздуха?
4. К каким крупномасштабным последствиям может привести изменение особенностей энергетического и водного режима атмосферы?
5. Какими условиями определяется и от чего зависит зона активного загрязнения атмосферы от организованных источников?
6. Назовите комплекс природоохранных мероприятий, проводимых для защиты атмосферного воздуха от загрязнений.

### 3. ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОСФЕРЫ

*Гидросфера* – водная оболочка Земли, представляющая совокупность всех водных объектов планеты: океанов, морей, рек, озер, болот, ледников, снежного покрова, подземных вод. В состав гидросферы также входит вода в атмосфере, почвенная влага и вода живых организмов. В ней представлены основные фазовые состояния воды – жидкое, твердое и газообразное. Вода гидросферы играет важнейшую роль в глобальном круговороте вещества, осуществляя эрозию и денудацию горных пород, перенос и отложение продуктов их разрушения и др. Физические свойства воды весьма специфичны: большие величины скрытой удельной теплоты фазовых переходов (испарения, конденсации, таяния, сублимации), значительная теплоемкость, малая молекулярная теплопроводность. В особенности значительную роль в глобальных процессах играет очень высокая величина скрытой удельной теплоты испарения – конденсации, что обеспечивает влагоперенос и в конечном счете гидрологический цикл. Вследствие высокой теплоемкости воды и значительной энергии ее фазовых переходов, она имеет огромное значение для теплового и водного режимов планеты, а потому является решающим фактором в формировании почв и растительности и, следовательно, всего облика Земли. В Мировом океане содержится 96,4 % общего объема гидросферы. Океан играет важнейшую роль терморегулятора. На суше основную массу воды содержат ледники (1,86 % от общих запасов и 70,3 % от запасов пресных вод), существенно влияющие, благодаря их высокой отражательной способности (альбедо), на формирование глобального теплового баланса атмосферы и поверхности Земли. Общий объем подземных вод составляет 1,68 % гидросферы, из них примерно половина – пресные воды.

В настоящее время качество воды и состояние водных объектов обусловлено возрастающими темпами антропогенного воздействия. Своей производственной деятельностью человек оказывает влияние на все основные элементы гидрологического цикла (осадки, испарение, сток), однако степень этого влияния на разные компоненты далеко не одинакова. Следует отметить, что гидрологический цикл является важнейшим процессом в географической среде, зависящим в то же время от изменения ее состояния. Он служит основой единства географической оболочки, играя важнейшую роль во всемирном обмене веществом и энергией.

*Загрязнение воды* – изменения химического и физического состояния или биологических характеристик воды, ограничивающие дальнейшее ее употребление. При всех типах водопользования меняются либо физическое состояние (например при нагревании), либо химический состав воды – при поступлении загрязняющих веществ, которые делятся на две основные группы: со временем изменяющиеся в водной среде и остающиеся в ней неизменными.

К *первой группе* относятся органические компоненты бытовых стоков и большая часть промышленных, например отходы целлюлозно-бумажных предприятий. *Вторую группу* составляют многие неорганические соли, например

сульфат натрия, который используется как краситель в текстильной промышленности, и неактивные органические вещества типа пестицидов.

Загрязнение вод проявляется и в изменении органолептических свойств (прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей.

Загрязнение вод может быть естественным (природным) и антропогенным (техногенным). *Естественное загрязнение* вод вызвано природными процессами. Например, загрязнение вод в результате извержения вулканов, водной и ветровой эрозии, абразии (разрушения) берегов и т. д. *Антропогенное загрязнение* связано с поступлением загрязняющих веществ в гидросферу в результате деятельности человека.

**Химическое загрязнение** – загрязнение вод неорганическими и органическими веществами. Из органических загрязнителей наиболее распространены нефть и нефтепродукты, СПАВ, фенолы, пестициды и др. Из неорганических – кислоты, щелочи, тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, мышьяк и др.). Химическое загрязнение – наиболее распространенное, стойкое загрязнение гидросферы. При осаждении на дно водоемов или при фильтрации в грунтовые воды вредные химические вещества сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок и т. д. Однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит.

**Биологическое загрязнение** – загрязнение вод патогенными микроорганизмами, бактериями, вирусами, простейшими, грибами, мелкими водорослями и др.

**Радиоактивное загрязнение** – загрязнение вод радионуклидами. Оно опасно даже при очень малых концентрациях радиоактивных веществ, особенно «долгоживущих» и подвижных в воде радиоактивных элементов (стронций-90, уран, радий-226, цезий-137 и др.). Радионуклиды попадают в поверхностные водоемы при сбрасывании радиоактивных отходов, захоронении их на дне и др., в подземные воды – в результате просачивания вглубь земли вместе с атмосферными осадками или в результате взаимодействия подземных вод с радиоактивными горными породами.

**Механическое загрязнение** – загрязнение вод механическими примесями – твердыми частицами (песок, ил, шлам и др.) и характерно в основном для поверхностных вод. При этом наиболее значительно ухудшаются органолептические показатели воды.

**Тепловое загрязнение** – это повышение температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами (тепловых и атомных электростанций). При повышении температуры происходит изменение газового и химического состава вод, что ведет к размножению анаэробных бактерий и выделению ядовитых газов – сероводорода, метана.

Одновременно происходит «цветение» воды или процесс эвтрофикации вследствие ускоренного развития фитопланктона и сине-зеленых водорослей.

Основной причиной современной деградации природных вод Земли является *техногенное загрязнение*, главными источниками которого служат сточные воды промышленных предприятий; коммунального хозяйства городов, поверхностные стоки с полей и других сельскохозяйственных объектов; стоки от транспортных магистралей, выпадение атмосферных загрязнителей на поверхность водоемов и водосборных бассейнов.

Наиболее распространено *химическое* и *биологическое* загрязнения, в меньшей степени – *радиоактивное*, *механическое* и *тепловое*.

### Практическое занятие 3

#### Изучение особенностей загрязнения водотока

**Цель занятия:** изучить особенности загрязнения водотока, направления и способы оценки качества воды в зависимости от вида водопользования, оценить уровень загрязнения реки с учетом индекса загрязнения воды, определить значение максимальной концентрации загрязняющего вещества в водотоке.

*Условия сброса сточных вод в водоемы.* Работа промышленных предприятий связана с потреблением воды. Вода используется в технологических и вспомогательных процессах или является составной частью выпускаемой продукции. При этом образуются сточные воды, которые подлежат сбросу в близлежащие водные объекты.

Сброс сточных вод в водоем недопустим, если  $C_{\phi} \geq \text{ПДК}$ . Согласно нормативным документам [3] запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды, которые:

- могут быть устранены путем организации малоотходных производств, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в промышленности, городском хозяйстве и для орошения в сельском хозяйстве;
- содержат возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной, вирусной и паразитарной природы;
- содержат вещества, для которых не установлены гигиенические ПДК.

Запрещается сброс сточных вод в границах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, рыбоохранных зон, рыбохозяйственных заповедных зон и др.

Сточные воды можно сбрасывать в водные объекты при условии соблюдения гигиенических требований применительно к воде водного объекта в зависимости от вида водопользования [3]. Различают следующие виды водопользования:

*1. Хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое водопользование.*

*I категория* – водные объекты, используемые в качестве источников хозяйственно-питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности.



*II категория* – водные объекты, используемые для купания, занятия спортом и отдыха населения.

## *2. Рыбохозяйственное водопользование.*

К водным объектам рыбохозяйственного значения относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов [4].

*Высшая категория* – места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов.

*I категория* – водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода.

*II категория* – водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

При сбросе сточных вод в водные объекты нормы качества воды водного объекта в расчетном створе, расположенном ниже выпуска сточных вод, должны соответствовать санитарным требованиям в зависимости от водопользования [5]. Нормы качества воды водных объектов включают общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в зависимости от вида водопользования, перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ в воде водных объектов для различных видов водопользования.

В расчетном створе вода должна удовлетворять нормативным требованиям. В качестве норматива используется предельно допустимая концентрация. Все вредные вещества, для которых определены ПДК, подразделены по лимитирующим показателям вредности (ЛПВ), под которыми понимают наибольшее отрицательное влияние, оказываемое данными веществами. Принадлежность веществ к одному и тому же ЛПВ предполагает суммирование действия этих веществ на водный объект. Для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования используют три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Для рыбохозяйственных водоемов используют пять видов ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный, органолептический, токсикологический и рыбохозяйственный.

Степень загрязнения определяется путем сравнения средних и максимальных значений концентрации со стандартами качества водоемов и водотоков – предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей.

***Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>)*** – это концентрация вредного вещества в воде (мг/л), которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье

последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

**Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственного пользования** (ПДК<sub>вр</sub>) – это концентрация вредного вещества в воде (мг/л), которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

### Методические указания к выполнению задания 3.1

Существует несколько направлений и способов оценки качества воды в зависимости от вида водопользования.

**Первый способ (метод).** При оценке действия веществ на водоемы и водотоки используется понятие **кратности превышения ПДК (уровня загрязнения)**. Кратность превышения ПДК – это отношение фактической концентрации химического вещества в воде водоема  $C_{vi}$  (мг/дм<sup>3</sup>) к величине, соответствующей ПДК<sub>ви</sub> и ПДК<sub>ври</sub> (мг/дм<sup>3</sup>), и определяется по формуле

$$X_{vi} = \frac{C_{vi}}{ПДК_{vi}} \quad \text{или} \quad X_{ври} = \frac{C_{ври}}{ПДК_{ври}}, \quad (3.1)$$

где  $X_{vi}$ ,  $X_{ври}$  – кратность превышения ПДК  $i$ -го загрязняющего вещества (ЗВ);  
 $C_{vi}$ ,  $C_{ври}$  – фактическая концентрация  $i$ -го ЗВ соответственно в воде водоема хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного пользования;  
ПДК<sub>ви</sub> – предельно допустимая концентрация  $i$ -го ЗВ в водоеме хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования;  
ПДК<sub>ври</sub> – предельно допустимая концентрация  $i$ -го ЗВ в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей.

**Второй способ (метод).** Наиболее широко применяется **гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)**, который используется при проведении экологического мониторинга поверхностных вод, для сравнения экологического состояния водных объектов, а также с целью оценки изменчивости качества вод в реальном масштабе времени. ИЗВ рассчитывается по шести показателям, которые можно считать гидрохимическими: биохимическое поглощение кислорода за пять суток (БПК<sub>5</sub>) и содержание растворенного кислорода (РК).

Вычисление ИЗВ по шести ингредиентам проводится по соотношению

$$ИЗВ_6 = \frac{\sum_{i=1}^{n=6} \frac{C_{ври}}{ПДК_{ври}}}{6}, \quad (3.2)$$

где  $C_{ври}$  – фактическая концентрация  $i$ -го вещества в воде рыбохозяйственного назначения, мг/л или мг/дм<sup>3</sup>;

ПДК<sub>ври</sub> – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в воде рыбохозяйственного назначения, мг/л;

$6$  – количество гидрополютантов с наибольшими показателями кратности превышения ПДК в водоеме рыбохозяйственного назначения.

В результате вычисления по формуле средней нормированной величины по шести ингредиентам получаем индекс загрязнения воды, который в зависимости от

численного значения соответствует одному из семи классов качества воды (табл. 3.1). Для пресных и морских вод численные градации индекса различаются.

Таблица 3.1

Классификация загрязнения пресных и морских вод по ИЗВ

Класс загрязнения	Характеристика загрязнения воды	Значение ИЗВ	
		пресные воды	морские воды
I	Очень чистая вода	<0,3	<0,25
II	Чистая вода	0,3–1,0	0,25–0,74
III	Умеренно загрязненная вода	1,0–2,5	0,75–1,24
IV	Загрязненная вода	2,5–4,0	1,25–1,74
V	Грязная вода	4,0–6,0	1,75–3,0
VI	Очень грязная вода	6,0–10,0	3,1–6,0
VII	Чрезвычайно грязная вода	>10,0	>6,0

**Третий способ (метод).** Широко применяется также *гидробиологический индекс сапробности S*, который наравне с ИЗВ используется при проведении экологического мониторинга поверхностных вод, для сравнения экологического состояния водных объектов, а также с целью оценки изменчивости качества вод в реальном масштабе времени. *Индекс сапробности водных объектов* рассчитывают исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов, представленных в различных водных сообществах (фитопланктоне, перифитоне):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^N h_i}, \quad (3.3)$$

где  $S_i$  – значение сапробности гидробионта;

$h_i$  – относительная встречаемость индикаторных организмов (в поле зрения микроскопа);

$N$  – число выбранных индикаторных организмов.

Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиолого-биохимических свойств, обуславливающих способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Для статистической достоверности результатов необходимо, чтобы в пробе содержались не менее двенадцати индикаторных организмов с общим числом особей в поле наблюдения не менее тридцати. В табл. 3.2 приведена классификация водных объектов по значению индекса сапробности  $S$ , которые также нормируются.

**Задание 3.1.** Содержание загрязняющих веществ в реке представлено в табл. 3.3. Река относится к рыбохозяйственному водному объекту второй категории. Определить кратность превышения ПДК ( $X_{впрі}$ ) для каждого ЗВ по формуле (3.1). Выбрать шесть наибольших значений  $X_{впрі}$  и рассчитать ИЗВ<sub>6</sub> для реки (см. формулу (3.2)). Оценить уровень загрязненности реки в зависимости от ИЗВ<sub>6</sub> по табл. 3.1. Результаты расчетов свести в табл. 3.4.

Таблица 3.2

## Классы качества вод в зависимости от индексов сапробности

Уровень загрязненности	Зоны	Индексы сапробности S	Классы качества вод
Очень чистые	ксеносапробная	до 0,50	1
Чистые	олигосапробная	0,50–1,50	2
Умеренно загрязненные	$\alpha$ -мезосапробная	1,51–2,50	3
Тяжело загрязненные	$\beta$ -мезосапробная	2,51–3,50	4
Очень тяжело загрязненные	полисапробная	3,51–4,00	5
Очень грязные	гиперсапробная	>4,00	6

Таблица 3.3

## Содержание загрязняющих веществ в реке

№ п/п	Загрязняющее вещество	ПДК <sub>ври</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Фактические концентрации C <sub>ври</sub> по вариантам, мг/дм <sup>3</sup>									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	БПК <sub>5</sub>	6	7,5	8,5	4,6	8,9	6	10	9,5	7,8	8,5	11,5
2	Растворенный кислород, РК	6	7,5	9,5	10,6	11,9	8	4	8,5	6,8	9,5	12,5
3	Взвешенные вещества	0,75	3,5	4,5	1,5	1,8	5,8	6,8	7,8	4,5	2,8	3,9
4	РН	7	4,2	3,3	4,5	2,9	2,5	5,5	6,6	6,1	5,5	4,8
5	Хром (Cr <sub>6</sub> <sup>+</sup> )	0,02	0,126	0,09	0,12	0,52	0,16	1,5	2,35	0,56	1,85	2,65
6	Цинк	0,01	0,14	0,15	0,18	1,10	0,15	0,08	0,09	0,15	0,21	0,56
7	Свинец	0,006	0,015	0,025	0,028	0,10	0,015	0,08	0,09	0,015	0,021	0,056
8	Нефтепродукты	0,05	0,5	0,8	0,9	1,8	2,4	2,8	4,2	3,5	5,1	2,2
9	Марганец Mn <sup>+</sup>	0,01	4,2	3,5	5,1	2,2	0,88	0,66	0,5	0,8	0,9	1,8
10	Железо	0,5	7,8	4,5	2,8	3,9	4,5	14,8	3,5	4,5	1,5	1,8
11	Кадмий	0,005	0,09	0,015	0,021	0,056	0,066	0,185	0,015	0,025	0,028	0,10
12	Медь	0,001	0,018	0,003	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,012	0,022	0,026
13	Хлориды (по Cl)	300	450	800	255	650	780	798	456	1266	1456	2456
14	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	100	256	866	456	356	780	580	450	800	255	550
15	Аммоний-ион	0,5	1,2	1,8	2,2	2,6	3,2	4,4	5,8	8,5	9,8	10,1
16	Вольфрам	0,05	1,48	0,35	0,45	0,15	0,18	0,5,8	0,88	0,65	0,48	0,39

Таблица 3.4

## Сводная таблица по результатам расчетов

№ п/п	Примесь	X <sub>ври</sub>	ИЗВ <sub>6</sub>	Характеристика загрязнения реки
1	БПК <sub>5</sub>			
2	Растворенный кислород, РК			
3	Взвешенные вещества			
4	РН			
5	Хром (Cr <sub>6</sub> <sup>+</sup> )			
6	Цинк			
7	Свинец			
8	Нефтепродукты			
9	Марганец Mn <sup>+</sup>			
10	Железо			
11	Кадмий			
12	Медь			
13	Хлориды (по Cl)			
14	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )			
15	Аммоний-ион			
16	Вольфрам			

### Методические указания к выполнению задания 3.2

**Задание 3.2.** Определить максимальную концентрацию загрязняющего вещества в водотоке на расстоянии 700 м от места выпуска сточных вод по схеме плоской задачи. Выпуск сточных вод – береговой. Расход сточных вод  $q_{\text{ср}} = 50,6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Водоток характеризуется следующими показателями: средняя скорость течения  $V_{\text{ср}} = 2,42 \text{ м/с}$ ; средняя глубина водотока  $H_{\text{ср}} = 2,37 \text{ м}$ ; ширина водотока  $B = 26,5 \text{ м}$ ; коэффициент турбулентной диффузии  $D = 0,073 \text{ м}^2/\text{с}$ . Для упрощения расчетов примем, что фоновое загрязнение водотока отсутствует, т. е.  $C_{\text{в}} = 0$ , а концентрация загрязняющего вещества в сточной воде  $C_{\text{ст}} = 100 \text{ г/м}^3$ .

**Пример решения.** Определим начальное сечение струи:

$$\delta = \frac{q_{\text{ср}}}{V_{\text{ср}}}, \quad (3.4)$$

где  $q_{\text{ср}}$  – расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $V_{\text{ср}}$  – средняя скорость течения,  $\text{м/с}$ .  
Тогда

$$\delta = \frac{q_{\text{ср}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{50,6}{2,42} = 20,9 \text{ м}^2.$$

Определим ширину загрязненной части водотока:

$$b = \frac{\delta}{H_{\text{ср}}}, \quad (3.5)$$

где  $\delta$  – начальное сечение струи;  
 $H_{\text{ср}}$  – средняя глубина водотока,  $\text{м}$ .  
Тогда

$$b = \frac{\delta}{H_{\text{ср}}} = \frac{20,9}{2,37} = 8,8 \text{ м}.$$

Выберем ширину расчетной клетки, соблюдая условие  $\Delta Z \leq B/10$ ,  $\Delta Z = 1,3 \text{ м}$ . В этом случае число клеток по ширине потока, занятых загрязненной водой в результате выпуска сточных вод, можно определить по формуле

$$n_{\text{зар}} = \frac{b}{\Delta Z}, \quad (3.6)$$

где  $b$  – ширина загрязненной части водотока,  $\text{м}$ ;  
 $\Delta Z$  – ширина расчетной клетки по ширине водного потока,  $\text{м}$ .  
Тогда

$$n_{\text{зар}} = \frac{b}{\Delta Z} = \frac{8,8}{1,3} = 7.$$

Общее число клеток по ширине водотока определяется формулой

$$n_{\text{зар}} = \frac{B}{\Delta Z}, \quad (3.7)$$

где  $B$  – ширина водотока,  $\text{м}$ .

Тогда

$$n_{\text{зар}} = \frac{B}{\Delta Z} = \frac{26,5}{1,3} = 20.$$

Определить расстояние между расчетными сечениями вдоль водотока можно выражением

$$\Delta X = \frac{V_{\text{cp}} \cdot \Delta Z^2}{2 \cdot D}, \quad (3.8)$$

где  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Тогда

$$\Delta X = \frac{V_{\text{cp}} \cdot \Delta Z^2}{2 \cdot D} = \frac{2,42 \cdot 1,69}{2 \cdot 0,073} = 28.$$

Таблица 3.5

### Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	$q_{\text{cp}}, \text{м}^3/\text{с}$	$V_{\text{cp}}, \text{м}/\text{с}$	$H_{\text{cp}}, \text{м}$	$B, \text{м}$	$D, \text{м}^2/\text{с}$
1	50,3	2,44	2,1	16	0,073
2	40,3	2,35	2,2	18	0,073
3	31,2	2,65	1,8	20	0,073
4	62,1	2,58	1,56	22	0,073
5	41,9	2,47	1,75	18	0,073
6	50,3	2,56	2,2	16	0,073
7	40,3	2,44	2,3	18	0,073
8	31,2	2,35	2,4	17	0,073
9	62,1	2,65	1,75	18	0,073
10	41,9	2,58	2,1	15	0,073
11	50,3	2,47	2,2	12	0,073
12	40,3	2,56	1,8	16	0,073
13	31,2	2,44	1,56	18	0,073
14	62,1	2,35	1,75	20	0,073
15	41,9	2,65	2,2	22	0,073

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные особенности и функции гидросферы. Какова роль воды в круговороте веществ?
2. Что такое загрязнение гидросферы? Назовите особенности естественного загрязнения воды.
3. Назовите основные причины антропогенного загрязнения гидросферы. Каковы его последствия?
4. Каковы условия сброса сточных вод в водоемы? Что такое ПДК?
5. Перечислите гигиенические требования применительно к воде водного объекта и дайте характеристику способов оценки качества воды в зависимости от вида водопользования.

#### 4. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Водные объекты считаются загрязненными, если состав или состояние их вод изменены в результате деятельности человека до такой степени, что они стали непригодными для целей, которым они служили до начала их использования человеком. Веществом, загрязняющим воду, является каждое соединение, вызывающее нарушение норм качества воды [5].

Основной механизм снижения концентрации загрязняющего вещества при сбросе сточных вод в водные объекты – разбавление. *Разбавление сточных вод* – это процесс снижения концентрации загрязняющих веществ в водоемах, вызванный перемешиванием сточных вод с водной средой, в которую они выпускаются. Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется кратностью разбавления  $n$ , которая равна отношению суммы расходов сточной воды  $q$  и окружающей водной среды  $Q$  к расходу сточной воды.

Разбавление сточных вод в водотоках определяется комплексным влиянием следующих трех процессов:

1) распределением сточных вод в начальном сечении водотока, которое зависит от конструкции выпускного сооружения;

2) начальным разбавлением сточных вод, протекающим под действием турбулентных струй;

3) основным разбавлением сточных вод, которое определяется гидродинамическими процессами водоемов и водотоков.

Все факторы и условия, характеризующие процесс разбавления, можно разделить на две группы:

– *1-я группа* – конструктивные и технологические особенности выпуска сточных вод (конструкция выпускного сооружения; число, форма и размеры выпускных отверстий; расход и скорость выпускаемых сточных вод; технология и санитарные показатели сточных вод (физические свойства, концентрация загрязняющих веществ и др.));

– *2-я группа* – гидрометеорологические особенности водоемов и водотоков (характер движения водных масс; причины, вызывающие эти движения (сток, ветер, температура, плотность и т. д.; морфологические характеристики русла водотока или ложа водоема; степень проточности водоема; состав и свойства водной среды)).

При расчете разбавления в водотоках и водоемах наибольшее распространение получил метод Фролова – Родзиллера [6]. Метод основан на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии при условиях, если: речной поток считается безграничным, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод береговой, сосредоточенный. Данный метод позволяет получить достоверное представление о потенциально возможном разбавлении сточных вод в стационарных, максимально неблагоприятных условиях, что и определяет целесообразность его использования для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

## Практическое занятие 4

### Определение степени очистки сточных вод

**Цель занятия:** определить кратность разбавления сточных вод в расчетном створе и провести расчет необходимой степени очистки по вредным и токсичным веществам.

#### Методические указания к выполнению задания 4.1

**Задание 4.1.** Определить кратность ( $n$ ) разбавления сточных вод в расчетном створе по условиям, изложенным ниже. При этом считать водоток водным объектом рыбохозяйственного водопользования первой категории. Выпуск сточных вод – береговой.

#### Определение кратности разбавления сточных вод в расчетном створе

Планируется сбрасывать в водоток сточные воды промышленного предприятия с максимальным расходом  $q = 1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ . Ниже по течению от планируемого выпуска сточных вод находится поселок, использующий воду водотока для купания и отдыха. Водоток характеризуется на этом участке следующими показателями: среднемесячный расход водотока 95%-й обеспеченности  $Q = 37 \text{ м}^3/\text{с}$ ; средняя глубина  $H_{\text{ср}} = 1,3 \text{ м}$ ; средняя скорость течения  $V_{\text{ср}} = 1,2 \text{ м/с}$ ; коэффициент Шези на этом участке  $C_{\text{ш}} = 29 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$ ; извилистость русла слабо выражена. Выпуск сточных вод – береговой  $\zeta = 1$ . Необходимо определить кратность разбавления сточных вод в расчетном створе ( $n$ ), используя данные табл. 4.1.

**Пример решения.** В связи с использованием водотока как водного объекта первой категории, предназначенного для рыбохозяйственного водопользования, расчетный створ устанавливается за 500 м до границы поселка по течению реки (вода должна отвечать санитарным требованиям для данного вида водопользования).

Определяем коэффициент турбулентной диффузии  $D$  по выражению

$$D = \frac{g \cdot V_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{m \cdot C_{\text{ш}}}, \quad (4.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$H_{\text{ср}}$  – средняя глубина, м;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость течения, м/с;

$C_{\text{ш}}$  – коэффициент Шези на участке водотока, который характеризует интенсивность турбулентного перемешивания водных масс. Максимальные его значения характерны для слабого перемешивания, и наоборот, минимальные – дают представление об эффекте интенсивного перемешивания.

Тогда

$$D = \frac{g \cdot V_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{m \cdot C_{\text{ш}}} = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 1,3}{26,3 \cdot 29} = 0,02.$$



Величина  $m$  определяется при условии, если  $10 \leq C_{ш} \leq 60$ , то  $m = 0,7C_{ш} + 6$ , а при  $C_{ш} \geq 60$ , то  $m = 48 = \text{const}$ .

Следовательно, если  $10 \leq C_{ш} \leq 60$ , то  $m = 0,7 \cdot C_{ш} + 6 = 0,7 \cdot 29 + 6 = 26,3$ . Произведение  $m \cdot C_{ш}$  измеряется  $\text{м}^3/\text{с}^2$ .

Поскольку выпуск сточных вод береговой, а извилистость русла слабо выражена, то определим коэффициент  $\alpha$ , зависящий от гидравлических условий потока по выражению

$$\alpha = \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (4.2)$$

где  $q$  – расход сточных вод  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Тогда

$$\alpha = \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}} = 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,02}{1,7}} = 0,23.$$

Коэффициент смешения  $\gamma$ , показывающий, какая часть воды реки участвует в разбавлении сточных вод, рассчитывается по формуле

$$\gamma = \frac{1 - 2,72^{-7,94 \cdot \alpha}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot 2,72^{-7,94 \cdot \alpha}} = \frac{1 - 2,72^{-7,94 \cdot 0,23}}{1 + \frac{37}{1,7} \cdot 2,72^{-7,94 \cdot 0,23}} = 0,186, \quad (4.3)$$

где  $Q$  – среднемесячный расход воды водотока 95%-й обеспеченности,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Кратность разбавления сточных вод промышленного предприятия в расчетном створе составит

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}. \quad (4.4)$$

Тогда

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q} = \frac{0,186 \cdot 37 + 1,7}{1,7} = 5,05.$$

Таблица 4.1

Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	$q, \text{м}^3/\text{с}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$H_{\text{ср}}, \text{м}$	$V_{\text{ср}}, \text{м}^3/\text{с}$
1	1,3	37	1,2	1,4
2	1,3	37	1,3	1,4
3	1,2	37	1,4	1,4
4	2,1	37	1,2	1,4
5	1,9	37	1,3	1,4
6	1,8	37	1,2	1,4
7	2,0	37	1,3	1,4
8	1,7	37	1,4	1,4
9	1,6	37	1,2	1,4
10	1,5	37	1,3	1,4

## Методические указания к выполнению задания 4.2

**Задание 4.2.** Определить необходимую степень очистки производственных сточных вод от вредных веществ по данным табл. 4.2 и 4.3.

### Расчет необходимой степени очистки по вредным и токсичным веществам

**Пример решения.** Эффективность очистки трудно удаляемого вещества определяется из следующего выражения:

$$\mathcal{E}_z = \left[ 1 - \frac{1 - \frac{n-1}{n} \cdot \sum \frac{C_B^Z}{C_{\text{ПДК}}^Z}}{\frac{1}{n} \cdot \sum \frac{C_{\text{СТ}}^Z}{C_{\text{ПДК}}^Z}} \cdot 100 \right]. \quad (4.5)$$

Определим необходимую степень очистки производственных сточных вод от вредных веществ, если в сточных водах содержатся следующие загрязнения:

$$C_{\text{СТ}}^{\text{Ni}} = 1,05 \text{ мг/л}, \quad C_{\text{СТ}}^{\text{Mo}} = 0,8 \text{ мг/л}, \quad C_{\text{СТ}}^{\text{As}} = 0,4 \text{ мг/л}, \quad C_{\text{СТ}}^{\text{Zn}} = 1,0 \text{ мг/л}.$$

Сточные воды подлежат сбросу в водоток, который относится к источникам хозяйственно-питьевого водопользования. Кратность разбавления сточных вод  $n = 61$ .

Вода до места сброса сточных вод характеризуется следующими показателями:

$$C_B^{\text{Ni}} = 0,001 \text{ мг/л}, \quad C_B^{\text{Mo}} = 0,001 \text{ мг/л}, \quad C_B^{\text{As}} = 0,001 \text{ мг/л}, \quad C_B^{\text{Zn}} = 0,71 \text{ мг/л}.$$

ПДК никеля, молибдена и мышьяка:

$$C_{\text{ПДК}}^{\text{Ni}} = 0,1 \text{ мг/л}, \quad C_{\text{ПДК}}^{\text{Mo}} = 0,5 \text{ мг/л}, \quad C_{\text{ПДК}}^{\text{As}} = 0,05 \text{ мг/л}.$$

Все вещества, которые были отмечены в сточной воде, относятся к определенному лимитирующему показателю вредности (ЛПВ). *Лимитирующий показатель вредности* – показатель, который определяет собой наиболее ранний и вероятный характер неблагоприятного влияния в случае появления в воде химического вещества в концентрации, превышающей ПДК.

Для воды хозяйственно-питьевого назначения выделяются три типа ЛПВ – санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. *Санитарно-токсикологический* подразумевает концентрацию, при превышении которой вещество становится токсичным для человека. *Общесанитарный* свидетельствует о нарушении санитарного состояния водного объекта. *Органолептический* обозначает концентрацию, при превышении которой вода меняет вкусовые качества, цвет, запах, а также характеризуется образованием пены или пленки.

К группе санитарно-токсикологического ЛПВ относятся никель, молибден, мышьяк, а к группе общесанитарного ЛПВ – цинк. Необходимую эффективность очистки по санитарно-токсикологическому показателю вредности определяем по выражению (4.5):

$$\sum \frac{C_B^Z}{C_{ПДК}^Z} = \frac{C_B^{Ni}}{C_{ПДК}^{Ni}} + \frac{C_B^{Mo}}{C_{ПДК}^{Mo}} + \frac{C_B^{As}}{C_{ПДК}^{As}} = \frac{0,001}{0,1} + \frac{0,25}{0,5} + \frac{0,001}{0,05} = 0,53,$$

$$\sum \frac{C_{СТ}}{C_{ПДК}} = \frac{C_{СТ}^{Ni}}{C_{ПДК}^{Ni}} + \frac{C_{СТ}^{Mo}}{C_{ПДК}^{Mo}} + \frac{C_{СТ}^{As}}{C_{ПДК}^{As}} = \frac{1,05}{0,1} + \frac{0,8}{0,5} + \frac{0,4}{0,05} = 44,7.$$

Следовательно,

$$\varepsilon_z = \left[ 1 - \frac{1 - \frac{61-1}{61} \cdot 0,53}{\frac{1}{61} \cdot 44,7} \cdot 100 \right] = 70 \% .$$

В связи с тем, что в группу общесанитарного ЛПВ входит одно вещество – цинк, его концентрацию в сточной воде, разрешенную к сбросу в водоток, определяют по выражению

$$C_{ПДК}^{Zn} \leq n \cdot (C_{СТ}^{Zn} - C_B^{Zn}) + C_B^{Zn}, \quad (4.6)$$

при этом  $C_{СТ}^{Zn} = 1,0$  мг/л,  $C_B^{Zn} = 0,71$  мг/л.

Значит

$$C_{ПДК}^{Zn} \leq 61 \cdot (1,0 - 0,71) + 0,71,$$

$$C_{ПДК}^{Zn} \leq 19,6.$$

Таким образом, для соблюдения санитарных условий сброса сточных вод указанного состава необходимо удалить на очистных сооружениях не менее 70 % вредных веществ, относящихся к санитарно-токсикологическим ЛПВ, и снизить на 19,6 % содержание цинка.

Таблица 4.2

Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	Содержание вещества в сточной воде, $C_{СТ}$ , мг/л				Кратность разбавления	Категория водопользования водного объекта
	Ni	Mo	As	Zn		
1	1,05	0,8	0,4	1,0	61	Хозяйственно-питьевая
2	1,01	0,9	0,3	0,9		
3	1,15	1,05	0,2	0,8		
4	1,3	0,95	0,5	1,0	68	Коммунально-бытовая
5	1,4	1,25	0,3	1,1		
6	1,01	0,8	0,4	0,9		
7	1,15	0,9	0,3	0,7		
8	1,2	1,05	0,2	0,8	72	Рыбохозяйственная первой категории
9	1,25	1,2	0,5	1,0		
10	1,3	0,9	0,4	0,9		

## Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	Содержание вещества в природной воде, С <sub>в</sub> , мг/л				Кратность разбавления	Категория водопользования водного объекта
	Ni	Mo	As	Zn		
1	0,001	0,25	0,001	0,71	61	Хозяйственно- питьевая
2	0,002	0,15	0,002	0,75		
3	0,003	0,12	0,003	0,65		
4	0,002	0,14	0,002	0,89	68	Коммунально- бытовая
5	0,003	0,12	0,003	0,86		
6	0,002	0,12	0,002	0,82		
7	0,003	0,17	0,003	0,75		
8	0,004	0,15	0,004	0,75	72	Рыбохозяйственная первой категории
9	0,001	0,14	0,001	0,62		
10	0,002	0,12	0,002	0,75		

## Вопросы для самоконтроля

1. Что такое разбавление сточных вод?
2. Назовите факторы и условия, характеризующие процесс разбавления сточных вод.
3. Как определить необходимую степень очистки производственных сточных вод от вредных веществ?

## 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ БИОСФЕРЫ

Под *природными ресурсами* понимаются естественные компоненты и свойства природной среды. Удовлетворение различных потребностей человеческого общества путем использования природных ресурсов и природных условий называется *природопользованием*. Возможность использования природных ресурсов связана как с природными факторами (состав, качество, запасы, размещение и т. д.), так и с техническими, технологическими и экономическими условиями. Природопользование включает извлечение и переработку природных ресурсов, их возобновление или воспроизводство; использование и охрану природных условий окружающей среды; сохранение, воспроизводство и рациональное изменение геоэкологического баланса природных систем. Природопользование бывает *нерациональным*, когда деятельность человека не обеспечивает сохранения природно-ресурсного потенциала, и *рациональным*, когда она обеспечивает экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий, а также наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей.

Техническое и технологическое несовершенство многих процессов извлечения и переработки естественных ресурсов, соображения экономической рентабельности и недостаток знаний об объемах и величинах природного сырья позволяют выделить две категории природно-ресурсных запасов по степени их технической и экономической доступности и изученности: доступные ресурсы и потенциальные ресурсы (запасы). *Доступные* (доказанные, реальные) *ресурсы* – это объемы природного сырья, выявленные современными методами определения, технически доступные и экономически рентабельные для освоения. *Потенциальные* (общие) *ресурсы* – это полезные для человека элементы природы, установленные на основе теоретических расчетов, рекогносцировочных обследований и включающие, помимо технически извлекаемых запасов природного сырья, еще и ту его часть, которую в настоящее время невозможно освоить по техническим или экономическим причинам (например, пресные воды, находящиеся в ледниках или глубинных слоях земной коры). Потенциальные ресурсы называют ресурсами будущего, т. к. их хозяйственное освоение станет возможным только в условиях качественно нового научно-технического этапа развития человеческого общества.

Разнообразие видов, свойств и происхождения естественных ресурсов, различие условий и возможностей их освоения обуславливают необходимость их классификации. Чаще всего природные ресурсы классифицируют по происхождению, видам хозяйственного использования, признаку исчерпаемости или неисчерпаемости. Каждый вид природного ресурса обычно формируется в одном из компонентов ландшафтной среды и на него воздействуют те же естественные факторы, которые создают данный компонент и влияют на его свойства и территориальное размещение.

Существует несколько классификаций природных ресурсов. По источникам происхождения: биологические, минеральные, энергетические. По использованию в качестве производственных ресурсов: земельные, лесные, гидроэнергетические, полезные ископаемые, которые подразделяются на рудные, топливно-энергетические ресурсы, запасы минерально-химического сырья и редкие материалы. По степени исчерпаемости ресурсов: неисчерпаемые – ресурсы, количество которых не ограничено относительно потребностей общества, например атмосферный воздух, осадки, солнечная радиация, энергия ветра, морских приливов и отливов, земных недр; исчерпаемые – ресурсы, которые расходуются при использовании человеком и в дальнейшем могут исчезнуть. Они подразделяются на невозобновимые природные ресурсы – это ресурсы, скорость использования которых не сопоставима со скоростью их использования (каменный уголь, нефть и большинство полезных ископаемых) и возобновимые, которые постоянно восстанавливаются по мере использования. В основном к таким ресурсам относятся представители флоры и фауны. Темпы их расходования должны соответствовать темпам их восстановления. Темпы восстановления различны: для восстановления животных требуется от одного до нескольких лет, леса – 30–90 лет, почвы – несколько десятилетий.

Главной особенностью всех видов природных ресурсов является их ограниченность. В результате демографического и экономического роста и связанного с ними увеличения потребления природных ресурсов человек как вид приблизился к пределу емкости эколого-экономической системы Земли и тем самым положил начало процессу истощения производственного потенциала экосистемы планеты, необходимого для поддержания как существующего уровня антропогенного потребления, так и систем жизнеобеспечения, от которых зависит жизнь на планете.

Все природные ресурсы являются компонентами биосферы и служат не только для удовлетворения потребностей общества, но и обеспечивают устойчивость биосферы. Среди глобальных проблем биосферы можно выделить две основные: первая – чрезмерное, не соответствующее установленному природой уровню, антропогенное поглощение и разрушение возобновимых биологических ресурсов и вторая – снижение роли биосферы в стабилизации состояния географической среды. Вследствие деятельности человека современная первичная биологическая продукция уменьшается по причинам деградации естественных ландшафтов и превращения естественных экосистем в антропогенные.

На территориях с высокой плотностью населения естественные экосистемы почти не сохранились, т. к. 40–80 % земель заняты сельскохозяйственными угодьями, населенными пунктами, дорогами, промышленными сооружениями и прочими результатами деятельности человека. На остальной части встречаются вторичные, или специально выращиваемые, леса, деградировавшие земли, водохозяйственные системы и др. Основные особенности антропогенной трансформации ландшафтов заключаются в следующем: геосистема из почти полностью замкнутой превращается в

разомкнутую (открытую), главным образом вследствие отчуждения биомассы в виде продукции, используемой человеком; увеличивается однообразие ландшафтов; интегральное антропогенное давление нарушает эволюционное развитие ландшафтов и снижает их продуктивность; нарушается химическое равновесие, сложившееся в ландшафтах в процессе их эволюции в доантропогенную эпоху. Общей экологической особенностью ландшафтов мира является ухудшение их состояния, выражающееся в снижении их естественной биологической продуктивности. При этом главными являются процессы обезлесения и опустынивания.

Под *обезлесением* понимают исчезновение леса в результате естественных причин или антропогенных воздействий. Главная причина уничтожения лесов – увеличение площади пашни и пастбищ вследствие роста численности населения. Обезлесение приводит к прямому уменьшению органического вещества, потере каналов поглощения углекислого газа растительностью и проявлению широкого спектра изменений круговоротов энергии, воды и питательных веществ. Уничтожение лесной растительности воздействует на глобальные биогеохимические циклы основных биогенных элементов и, следовательно, оказывает влияние на химический состав атмосферы.

*Опустынивание* означает деградацию земель в засушливых районах, которая происходит вследствие различных факторов, включая колебания климата и деятельность человека. Деградация земель означает сокращение или полную потерю биологической или экономической продуктивности неорошаемых и орошаемых земель или же пастбищ и лесов вследствие использования земель или других действий, ведущих к таким процессам, как ветровая и водная эрозии почв, ухудшение физических, химических и биологических свойств почв, и к долгосрочной потере естественной растительности. Признаками опустынивания являются: сокращение степени покрытости почвы растительностью, увеличение отражательной способности поверхности почвы, значительная потеря многолетних растений, особенно деревьев и кустарников, кое-где наступление песков и засоление почв.

Также актуальной является проблема *сохранения биоразнообразия*. Причинами современного ускоренного снижения биоразнообразия являются: быстрый рост населения и экономического развития, вносящие огромные изменения в условия жизни всех организмов и экологических систем Земли; увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма; усиливающееся загрязнение природных вод, почвы и воздуха; недостаточное внимание к последствиям действий, разрушающих условия существования живых организмов. Экономическая целесообразность сохранения биоразнообразия обусловлена использованием дикой биоты для удовлетворения различных потребностей общества в сфере промышленности, сельского хозяйства, рекреации и науки: для селекции домашних растений и животных, генетического резервуара, необходимого для обновления и поддержания устойчивости сортов, изготовления лекарств, а также для обеспечения населения продовольствием, топливом, энергией, древесиной и т. д.

## Практическое занятие 5

### Экологические проблемы использования ресурсов биосферы

**Цель занятия:** изучить особенности и классификации природных ресурсов, экологические проблемы использования ресурсов биосферы, определить значение растений в стабилизации газового состава атмосферы.

#### Методические указания к выполнению задания 5.1

**Задание 5.1.** Определить объем углекислого газа, необходимого для образования древесины, используя данные табл. 5.1.

Процесс выделения кислорода зелеными растениями непосредственно связан с их ростом, который идет достаточно медленно. Оба эти процесса могут быть выражены одной химической реакцией, идущей в различных направлениях. В одном случае атом углерода присоединяет молекулу кислорода, образуя углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), в другом – молекула углекислого газа усваивается растением. При этом она распадается: атом углерода идет на образование древесины, а молекула кислорода выделяется в атмосферу, т. е. в процессе образования древесины кислород является побочным продуктом.

Естественно, что древесина состоит не только из углерода. Каждое растение содержит некоторое количество воды и минеральных солей. Известно, что свежесрубленное дерево горит плохо, а после загорания выделяет много водяного пара, что делает дым от влажных дров хорошо заметным издали. Цвет пламени горячей древесины обычно желтый, поскольку из минеральных солей наиболее распространены соли натрия и именно его ионы окрашивают пламя в желтый цвет. Если дерево произрастало на почвах, богатых солями калия, то дрова из него дают пламя с фиолетовыми отблесками.

Для выполнения задания необходимо вычислить массу древесного ствола. При этом форма ствола принимается эквивалентной форме цилиндра. Следовательно, необходимо вычислить объем цилиндра и умножить полученное значение на плотность древесины. Далее следует применить правило вычисления массы веществ, участвующих в химической реакции (подробно разобрано в приведенном ниже примере расчета), и объединенный закон газового состояния.

**Пример решения.** Вычислим какой объем  $\text{CO}_2$ , взятого при нормальных условиях, необходимо поглотить растению, чтобы выросло дерево со следующими параметрами: диаметр ствола  $D = 0,8$  м, высота  $h = 15$  м, плотность древесины  $\rho = 0,08$  т/м<sup>3</sup>. Принимаем, что вся древесина состоит из углерода и древесный ствол имеет правильную цилиндрическую форму.

Определим массу дерева  $m$ . Для этого площадь поперечного сечения, равную  $\pi r^2$ , умножим на  $h$  (радиус  $r$  равен  $D/2 = 0,4$  м) и на  $\rho$ , т. е.

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho. \quad (5.1)$$

Тогда

$$m = 3,14 \cdot 15 \text{ м} \cdot (0,4 \text{ м})^2 \cdot 0,08 \text{ т/м}^3 = 0,6 \text{ т} = 600 \text{ кг}.$$



Образование древесины из углекислого газа идет по реакции



Принимаем в уравнении химической реакции (5.2) массу углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) равной  $m_1$ , массу углерода (C) равной  $m_2$ , а их молекулярные массы равными  $M_1$  и  $M_2$  соответственно.

Воспользуемся соотношением масс реагирующих веществ и их молекулярных масс:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{k_1 \cdot M_1}{k_2 \cdot M_2} , \quad (5.3)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы реагирующих веществ;

$M_1$  и  $M_2$  – молекулярные массы реагирующих веществ;

$k_1$  и  $k_2$  – стехиометрические коэффициенты реагирующих веществ (согласно уравнению химической реакции (5.2) они равны единице).

Атомная масса кислорода равна 16, углерода – 12. Соответственно, молекулярная масса  $\text{CO}_2$  ( $M_1$ ) равна  $16 \cdot 2 + 12 = 44$ ; молекулярная масса углерода принимается равной его атомной массе, т. е.  $M_2 = 12$ . Используя формулу (5.3), получаем

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot M_1}{M_2} . \quad (5.4)$$

Подставляя данные, получаем

$$m_1 = \frac{600 \cdot 44}{12} = 2200 \text{ кг} .$$

Известно, что при нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л. А так как 1 моль  $\text{CO}_2$  имеет массу 0,044 кг или 44 г (поскольку масса одного моля численно равна молекулярной массе), то, умножив число молей  $\text{CO}_2$ , содержащихся в 2200 кг, на 22,4 л, получим искомую величину

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{2200}{0,044} \cdot 22,4 = 1120000 \text{ л или } 1120 \text{ м}^3 .$$

Таким образом, объем  $\text{CO}_2$ , взятого при нормальных условиях, равен  $1120 \text{ м}^3$ .

В табл. 5.1 приведены варианты заданий для самостоятельной работы. Каждому варианту соответствуют определенный класс бонитета, который устанавливается преподавателем.

*Бонитет* (от лат. *bonitas* – доброкачественность) – показатель продуктивности древесных насаждений, зависящий от условий произрастания. Бонитировочная шкала состоит из пяти основных классов. К I классу относятся наиболее продуктивные насаждения, а к V – наименее продуктивные. Скорость роста древостоя увеличивается с повышением класса бонитета [7].

Таблица 5.1

## Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	Вид древесины	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Прирост древесины по классам бонитета									
			I		II		III		IV		V	
			D, м	h, м	D, м	h, м	D, м	h, м	D, м	h, м	D, м	h, м
1	Липа	0,45	1	19	0,15	2	0,6	19	0,9	9	0,75	12,3
2	Сосна	0,5	0,9	17	0,3	4	0,81	2	0,4	12	0,16	14,6
3	Бук	0,65	0,8	15	1,01	6	0,7	17	1,1	7	0,92	17,1
4	Дуб	0,7	0,7	13	0,79	8	0,79	4	0,3	14	0,7	9,6
5	Орех	0,66	0,6	11	0,81	10	0,8	15	1,5	5	0,32	1,5
6	Груша	0,72	0,5	9	0,75	12	1,01	6	0,1	16	0,5	2,37
7	Ясень	0,74	0,2	7	1,07	14	0,9	13	1,07	3	0,2	5,9
8	Клен	0,7	0,1	5	1,5	16	0,3	8	0,2	18	0,38	6,78
9	Тополь	0,6	0,3	3	1,1	18	1	11	0,75	1	0,8	7,53
10	Акация	0,77	0,4	1	0,9	20	0,15	10	0,5	20	0,74	1,24

**Методические указания к выполнению задания 5.2**

**Задание 5.2.** Определить продукты сгорания органического топлива, используя данные табл. 5.2.

При сгорании древесины или каменного угля помимо углекислого газа (CO<sub>2</sub>) может образовываться и угарный газ (CO). Последний легко окисляется кислородом воздуха и при сгорании топлива на открытом воздухе или при наличии интенсивной тяги опасности для человека не представляет. Однако в закрытом помещении угарный газ весьма опасен и может привести к тяжелому отравлению и даже смерти. Это происходит потому, что молекула угарного газа лишь незначительно превосходит по размерам молекулу кислорода. Попадая при дыхании в организм, она необратимо встраивается в молекулу гемоглобина (составляющая крови), которая в нормальных условиях является «транспортном», доставляющим кислород и выводящим продукты окисления (угарный газ) из всех тканей тела человека.

Поскольку плотность угарного газа меньше плотности воздуха, то в помещениях без вентиляции он скапливается под потолком. И угарный, и углекислый газы не имеют ни цвета, ни запаха, поэтому повышение их концентраций до опасных уровней происходит незаметно для людей, находящихся в помещении. Кроме того, при прохождении над раскаленными углями углекислый газ восстанавливается до угарного (CO<sub>2</sub> + C = 2CO), что представляет дополнительную опасность, поскольку предельно допустимая концентрация угарного газа значительно меньше, чем углекислого.

При выполнении задания необходимо понимать, что не все допущения, принятые в образце решения, имеют место в реальных условиях. В частности, углекислый и угарный газы, находясь в закрытом помещении, хотя и

располагаются друг над другом из-за неодинаковой плотности, но при этом нет четкой границы раздела, а существует некий слой смешивания.

**Пример решения.** Вычислим, какой объем займет угарный газ, выделяющийся при полном сгорании древесины, угля или другого топлива в помещении со следующими параметрами: длина помещения  $l = 4,0$  м; ширина помещения  $n = 2,0$  м; высота помещения  $h = 3,0$  м. Масса топлива  $m = 12$  кг; коэффициент сгорания  $k = 0,8$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, подвергающегося неполному сгоранию (образующему СО)  $\psi_1 = 0,1$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, образующего СО во вторичном процессе,  $\psi_2 = 0,15$ ; температура воздуха в закрытом помещении  $T_1 = 40$  °С = 313 К; атмосферное давление воздуха в закрытом помещении  $P_1 = 780$  мм рт. ст. Определим, с какой высоты помещения будет начинаться зона, заполненная угарным газом. Упрощенно полагаем, что угарный газ располагается вверху и не смешивается с другими газами.

Считаем, что все сгоревшее топливо – чистый углерод. Тогда его количество определяется произведением массы топлива на коэффициент сгорания:

$$m_1 = m \cdot k . \quad (5.5)$$

Тогда

$$m_1 = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ кг} .$$

При сгорании топлива параллельно идут два химических процесса:



Часть  $CO_2$  вступает во вторичную реакцию с раскаленными углями:



Масса углерода, участвующего в реакции (5.6), определяется по формуле

$$m_2 = m_1 \cdot \psi_1 . \quad (5.9)$$

Тогда

$$m_2 = 9,6 \cdot 0,1 = 0,96 \text{ кг} .$$

Масса углерода, участвующего в реакции (5.7), определяется по формуле

$$m_3 = m_1 \cdot \psi_2 , \quad (5.10)$$

Тогда

$$m_3 = 9,6 \cdot 0,15 = 1,44 \text{ кг} .$$

Общая масса углерода, образующего СО, равна

$$m_4 = m_2 + m_3 . \quad (5.11)$$

Тогда

$$m_4 = 0,96 + 1,44 = 2,4 \text{ кг} .$$

Для простоты будем считать, что весь процесс образования угарного газа идет по реакции (5.7). Исходя из соотношения масс, участвующих в

химической реакции (см. методические указания к выполнению задания 5.1), находим массу образовавшегося угарного газа

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{C}} \cdot M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}}}.$$

Тогда

$$m_{\text{CO}} = \frac{2,4 \cdot 28}{12} = 5,6 \text{ кг.}$$

Молекулярную массу CO находим как сумму атомных масс углерода и кислорода (коэффициенты перед CO и C в уравнении (5.7) взаимно уничтожаются: 0,028 кг – масса одного моля CO; 22,4 л – объем, занимаемый одним молем газа при нормальных условиях). Объем, который займет это количество угарного газа при нормальных условиях, составит:

$$V_{\text{CO}} = \frac{5,6}{0,028} \cdot 22,4 = 4480 \text{ л или } 4,480 \text{ м}^3.$$

По уравнению объединенного газового закона найдем истинный объем угарного газа  $V_{\text{ист}}$  при  $T_1 = 313 \text{ К}$ :

$$V_{\text{ист}} = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{P_1 \cdot T_0},$$

где  $V_0$  – объем угарного газа при нормальных условиях ( $V_0 = V_{\text{CO}} = 4,480 \text{ м}^3$ );  
 $T_0$  – единица измерения термодинамической температуры в СИ ( $T_0 = 273 \text{ К}$ );  
 $P_0$  – атмосферное давление при нормальных условиях ( $P_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ).

Тогда

$$V_{\text{ист}} = \frac{760 \cdot 4,480 \cdot 313}{780 \cdot 273} = 0,5 \text{ м}^3.$$

Площадь помещения равна  $S = 1 \cdot n = 4 \cdot 2 = 8 \text{ м}^2$ .

Определим высоту зоны  $h_x$ , заполненной угарным газом:

$$h_x = \frac{V_{\text{ист}}}{S} = \frac{0,5}{8} = 0,0625 \text{ м.}$$

Вычислим с какой высоты помещения будет начинаться зона, заполненная угарным газом:

$$h - h_x = 3 - 0,0625 = 2,9375 \text{ м.}$$

## Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	m, кг	T <sub>1</sub> , °C	P <sub>1</sub> , мм рт. ст.	k	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>	l, м	n, м	h, м
1	15	42	780	0,75	0,1	0,15	2	4	2
2	25	46	784	0,83	0,18	0,17	2,5	5	3,7
3	17	50	786	0,82	0,17	0,18	8	3	2,75
4	24	54	785	0,76	0,19	0,19	3	6	2,7
5	19	40	788	0,79	0,2	0,14	3	3	3,2
6	31	58	787	0,77	0,3	0,12	2	4	3,7
7	26	52	783	0,78	0,21	0,13	2,5	5	2,75
8	10	48	782	0,84	0,16	0,11	8	3	2,7
9	21	44	789	0,85	0,14	0,1	3	6	3,2
10	37	56	781	0,8	0,15	0,2	3	3	3,7

## Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятиям «природные ресурсы» и «природопользование». Каково значение природных ресурсов в устойчивости биосферы?
2. Объясните значение понятий «природные ресурсы» и «природные условия».
3. В чем отличие доступных природных ресурсов от потенциальных запасов?
4. Какова классификация природных ресурсов и ее значение?
5. Назовите современные экологические проблемы биосферы. Каковы причины их возникновения, и в чем заключается их опасность для человека и окружающей среды?
6. Какие вы видите возможные пути решения экологических проблем использования ресурсов биосферы?

## 6. ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Тепловые электрические станции являются одними из крупнейших источников загрязнения атмосферы и окружающей среды в целом. С дымовыми газами котлов в воздушный бассейн выбрасывается большое число твердых и газообразных загрязнителей, нормируемых в атмосфере, среди которых такие вредные вещества как зола, оксиды углерода, серы и азота. Обладая высокой токсичностью, они наносят значительный вред окружающей среде и здоровью людей. Существенное влияние на состав и концентрацию образующихся вредных веществ при сжигании топлива оказывают: мощность ТЭС и ТЭЦ, вид топлива и его зольность, режим горения, полнота сгорания горючей массы, вид и принцип работы очистных устройств. Большие объемы отходящих газовых потоков продуктов сгорания топлива затрудняют эффективное использование аппаратов очистки. Строительство высоких дымовых труб позволяет рассеивать вредные вещества на большей территории, уменьшая локально приземную концентрацию ЗВ, но не снижает общего загрязнения атмосферы в целом.

Целью нормирования выбросов тепловых электрических станций является и ограничение неблагоприятного воздействия ТЭС на воздушный бассейн путем разработки предельно допустимых выбросов (ПДВ) – контрольных (г/с) и годовых (т/год), обеспечивающих соблюдение санитарно-гигиенических нормативов; установления временно согласованных выбросов (ВСВ), а также технологических (удельных) норм выбросов для каждой котельной установки. Следует отметить, что необходимость учета таких нормативов в рамках работ по нормированию необходимо определять в разрезе каждого предприятия, учитывая местоположение предприятия по отношению к конкретному уровню и виду экосистемы, а также зону влияния выбросов в атмосферу предприятия [11].

**Предельно допустимый выброс** – норматив предельно допустимого выброса вредного ЗВ в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха как максимальный выброс (данного источника), не приводящий к нарушению гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых (критических) нагрузок на экологические системы [12].

**Временно согласованный выброс** – временный лимит выброса вредного ЗВ в атмосферный воздух, который устанавливается для действующих стационарных источников выбросов с учетом качества атмосферного воздуха и социально-экономических условий развития соответствующей территории в целях поэтапного достижения установленного предельно допустимого выброса [13].

## Практическое занятие 6

### Техногенное загрязнение окружающей среды от сжигания топлива в котельных и ТЭС

**Цель занятия:** рассчитать количество выбросов при сжигании топлива котельными установками и определить объем продуктов сгорания.

#### Методические указания к выполнению задания

*Расчет выбросов твердых частиц.* Массовый выброс  $M_i$  (г/с) – это количество  $i$ -го ЗВ, выбрасываемого в атмосферу с уходящими газами в единицу времени (за 1 с). Массовый выброс ЗВ за определенный период времени (год) называется *валовым выбросом* (т/год).

Валовый (в т/год) и максимально разовый (в г/с) выбросы летучей золы и несгоревшего топлива от группы из  $m$  штук одновременно работающих котлов рассчитывают по следующим формулам:

$$M_{\text{ТВ}} = \sum_{i=1}^m B_i \cdot [A / (100 - \Gamma)] \cdot \alpha_{\text{ун}} \cdot (1 - \eta_i^{\text{оч}}), \quad (6.1)$$

$$G_{\text{ТВ}} = \sum_{i=1}^m B_i \cdot [A / (100 - \Gamma)] \cdot \alpha_{\text{ун}} \cdot (1 - \eta_i^{\text{оч}}), \quad (6.2)$$

где  $M_{\text{ТВ}}$  ( $G_{\text{ТВ}}$ ) – валовый и максимально разовый выбросы твердых частиц (золы);  
 $B_i$  – расход натурального топлива  $i$ -го котла, т/год или г/с;  
 $A$  – зольность топлива, %;  
 $\alpha_{\text{ун}}$  – доля золы в уносе;  
 $\Gamma$  – содержание горючего в уносе, %;  
 $\eta_i^{\text{оч}}$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителе  $i$ -го котла (принимается по результатам измерений).

Рекомендуется пересчитывать максимально разовое выделение в валовое и наоборот, используя время работы котлов.

При отсутствии эксплуатационных данных по содержанию горючих в уносе количество выбрасываемых твердых частиц определяют по формуле

$$M_{\text{ТВ}} (G_{\text{ТВ}}) = \sum_{i=1}^m 0,01 B_i \cdot [(\alpha_{\text{ун}} \cdot A) + q_{\text{ун}} \cdot (Q_{\text{н}} / 32,7)] \cdot (1 - \eta_i^{\text{оч}}), \quad (6.3)$$

где  $q_{\text{ун}}$  – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива, % (для мазутных котлов  $q_{\text{ун}} = 0,02$  %);

$Q_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

32,7 – средняя теплота сгорания горючих в уносе, МДж/кг.

*Расчет выбросов оксидов серы.* Валовый (в т/год) и максимально разовый (в г/с) выбросы оксидов серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  (в пересчете на  $\text{SO}_2$ ) от группы из  $m$  штук одновременно работающих котлов рассчитывают по формуле

$$M_{\text{SO}_x} (G_{\text{SO}_x}) = \sum_{i=1}^m 0,02 \cdot B_i \cdot S \cdot (1 - \eta_i') \cdot (1 - \eta_i''), \quad (6.4)$$

где  $B_i$  – расход твердого или жидкого (т/год), или газообразного (тыс. м<sup>3</sup>/год) топлива  $i$ -го котла;

$S$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$\eta_i'$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в  $i$ -м котле;

$\eta_i''$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе  $i$ -го котла попутно с улавливанием твердых частиц;

0,02 – коэффициент перевода молекулярной массы серы в молекулярную массу диоксида серы.

Ориентировочные значения  $\eta_i'$  при факельном сжигании различных видов топлива следующие [14]: мазут – 0,02; уголь – 0,1.

Доля оксидов серы  $\eta_i''$ , улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях она зависит в основном от расхода и общей щелочности орошаемой воды и от приведенной сернистости топлива (в среднем она равна 0,1). Определяем выбросы оксидов серы:

$$M_{\text{выб}}^{\text{SO}_2} = \sum M_{\text{отх } i}^{\text{SO}_2} (1 - \eta_{\text{SO}_2}'), \quad (6.5)$$

где  $\eta_{\text{SO}_2}'$  – КПД сероулавливающей установки;

Доля оксидов серы равна 0,8–0,9 при наличии сероулавливающей установки или нулю при ее отсутствии.

*Расчет выбросов оксида углерода.* Валовый (в т/год) и максимально разовый (в г/с) выбросы оксида углерода от группы из  $m$  штук одновременно работающих котлов определяют по формуле

$$M_{\text{CO}} (G_{\text{CO}}) = \sum_{i=1}^m 0,001 \cdot C_{\text{CO}}^* \cdot B_i \cdot (1 - q_i^{\text{мех}} / 100), \quad (6.6)$$

где  $C_{\text{CO}}^*$  – выход оксида углерода при сжигании твердого или жидкого (г/кг), или газообразного (г/м<sup>3</sup>) топлива;

$q_i^{\text{мех}}$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива в  $i$ -м котле, %.

Выход оксида углерода при сжигании топлива определяется по формуле

$$G_{\text{CO}}^* = (q^{\text{хим}} \cdot R \cdot Q_T) / 1,013, \quad (6.7)$$

где  $q^{\text{хим}}$  – потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, обусловленной содержанием в продуктах неполного сгорания углерода;

$R$  – доля потерь теплоты, обусловленная содержанием CO в продуктах сгорания (для твердого топлива  $R = 1$ , для газа  $R = 0,5$ , для мазута  $R = 0,65$ );

$Q_T$  – теплота сгорания топлива (МДж/кг или МДж/м<sup>3</sup>).



Значения  $q^{\text{хим}}$  и  $q_i^{\text{мех}}$  принимают по эксплуатационным данным или по нормативам.

*Расчет выбросов оксидов азота.* Валовый (т/год) и максимально разовый (г/с) выбросы суммы оксидов азота ( $\text{NO}_3$ ) в пересчете на диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ) от группы из  $m$  штук одновременно работающих котлов паропроизводительностью более 30 т/ч или водогрейных котлов тепловой мощностью более 30 Гкал/ч рассчитывают по формуле

$$M_{\text{NO}_x} (G_{\text{NO}_x}) = \sum_{i=1}^m 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot \psi \cdot B_i \cdot Q_n \cdot (1 - q_{\text{мех}} / 100) \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r_i) \cdot \beta_1 \cdot \beta_{2i} \cdot \beta_{3i} \cdot \varepsilon_2, \quad (6.8)$$

где  $\psi$  – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота условного топлива, кг/т;

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива;

$\beta_{2i}$  – коэффициент, учитывающий влияние конструкции горелок  $i$ -го котла;

$\beta_{3i}$  – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления  $i$ -го котла;

$\varepsilon_1$  – коэффициент, характеризующий эффективность влияния рециркулирующих газов в зависимости от условий подачи их в топку  $i$ -го котла;

$\varepsilon_2$  – коэффициент, характеризующий снижение выбросов оксидов азота при двухступенчатом сжигании;

$r_i$  – степень рециркуляции дымовых газов  $i$ -го котла, %.

Для котлов паропроизводительностью более 70 т/ч коэффициент  $\psi$  при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузкой выше 75 % от номинальной определяется по формуле

$$\psi = (12 \cdot \vartheta_{\text{ф}}) / (200 + \vartheta), \quad (6.9)$$

где  $\vartheta$ ,  $\vartheta_{\text{ф}}$  – номинальная и фактическая производительность котла, т/ч.

Для котлов паропроизводительностью менее 70 т/ч:

$$\psi = \vartheta_{\text{ф}} / 20. \quad (6.10)$$

Значение  $\beta_1$  для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, равно

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot N_i, \quad (6.11)$$

где  $N_i$  – содержание азота в топливе, %.

При одновременном сжигании в топках двух видов топлива коэффициент  $\beta_1$  определяется как средневзвешенное значение по топливу. Так, для двух видов топлива

$$\beta_1 = (\beta_1' \cdot V' + \beta_1'' \cdot V'') / (V' + V''), \quad (6.12)$$

где  $\beta_1', \beta_1'', V', V''$  соответствуют значениям коэффициентов и расходов каждого вида топлива на котел.

*Определение объема продуктов сгорания и воздуха.* При горении – химическом взаимодействии топлива с атмосферным кислородом – образуются газообразные вещества. Объемы воздуха, необходимые для горения, рассчитывают на 1 кг твердого или на 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива (при нормальных условиях). Состав топлива задается в процентах: для твердого – по массе, газообразного – по объему.

Принято использовать следующие обозначения:

1) С, Н, О, N, S, А, W – процентное содержание углерода, водорода, кислорода, азота, серы, золы и влаги соответственно в рабочей массе твердого топлива, причем их сумма равна 100 %.

2) СH<sub>4</sub>, С<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, N, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O, CO, H – процентное содержание метана, предельных углеводородов, азота, диоксида углерода, сероводорода, кислорода, оксида углерода, водорода соответственно в 1 м<sup>3</sup> сухого газообразного топлива, причем их сумма равна 100 %.

Теоретический объем воздуха, необходимого для горения, определяют по формулам.

Для твердого и жидкого топлива (м<sup>3</sup>/кг)

$$V_0 = 0,0889 \cdot (C + 0,0375 \cdot S) + 0,265 \cdot H - 0,0333 \cdot O. \quad (6.13)$$

Для газообразного топлива (м<sup>3</sup>/кг)

$$V_0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot C + 0,5 \cdot H + 1,5 \cdot H_2S + \sum (m + 0,25 \cdot n) \cdot C_m H_n - O]. \quad (6.14)$$

Теоретические объемы продуктов сгорания (при  $\alpha = 1$ , т. е. при поступлении всего рассчитанного необходимого количества воздуха) топлива ( $V_\varepsilon^*$ ) рассчитываются по формуле

$$V_\varepsilon^* = V_{RO_2}^* + V_N^* + V_{H_2O}^*, \quad (6.15)$$

где  $V_{RO_2}^*$  – теоретический объем кислорода, необходимого для горения (м<sup>3</sup>/кг);

$V_N^*$  – теоретический объем азота, необходимого для горения (м<sup>3</sup>/кг);

$V_{H_2O}^*$  – теоретический объем водорода, необходимого для горения (м<sup>3</sup>/кг).

При этом для твердого и жидкого топлива (м<sup>3</sup>/кг):

$$V_{RO_2}^* = 0,0186(C + 0,375 \cdot S), \quad (6.16)$$

$$V_N^* = 0,79 \times V_0 + 0,008 \times N, \quad (6.17)$$

$$V_{H_2O}^* = 0,111 \cdot H + 0,0124 \cdot W + 0,0161 \cdot V_0. \quad (6.18)$$

Для природного газа (м<sup>3</sup>/кг):

$$V_{RO_2}^* = 0,01 \cdot (m \cdot C_m H_n + CO_2 + CO + H_2O), \quad (6.19)$$

$$V_N^* = 0,79 \cdot V_0 + 0,01 \cdot N, \quad (6.20)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^* = 0,01 \cdot (0,5 \cdot n \cdot C_m \text{H}_n + \text{H}_2\text{S} + \text{H} + 0,0124d_r + 1,61 \cdot V_0), \quad (6.21)$$

где  $d_r$  – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м<sup>3</sup> сухого газа, г/м<sup>3</sup>; при расчетной температуре 10 °С принимают  $d_r = 10$  г/м<sup>3</sup>.

Расход газов (м<sup>3</sup>/с), поступающих в дымовую трубу, при рабочих условиях рассчитывают по формуле

$$V^{\text{атм}} = B \cdot 10^{-3} [V_{\varepsilon}^* + (\varepsilon_{\text{yx}} - 1) \cdot V_0] \cdot [T_{\text{yx}} + 273] / 273, \quad (6.22)$$

где  $B$  – общий расход топлива котлов, г/с;

$\varepsilon_{\text{yx}}$  – коэффициент избытка воздуха перед дымовой трубой;

$T_{\text{yx}}$  – температура газов в устье дымовой трубы, °С.

**Пример.** В котельной подмосковного поселка установлено два котла, работающих на подмосковном угле марки Б2Р. Определите объем дымовых газов, а также максимально разовые выбросы золы и оксидов серы, углерода, азота при показателях, приведенных ниже [14].

### Технические характеристики котла

Расчетный расход топлива на один котел	500 г/с
Температура отходящих газов в устье трубы	150 °С
Коэффициент избытка воздуха перед дымовой трубой $\varepsilon_{\text{yx}}$	1,75
Потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива	1,00 %
Потеря тепла от неполноты сгорания топлива:	
– механической $q^{\text{мех}}$	4,00 %
– химической $q^{\text{хим}}$	1,00 %
Доля твердых частиц, задерживаемых золоуловителем	0,85
Доля оксидов серы, связанных летучей золой в котле	0,10
Доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе котла попутно с улавливанием твердых частиц	0
Низшая теплота сгорания топлива составляет 11,48 МДж/кг	

Характеристики топлива						
Состав угля, %						
A	S	W	C	H	N	O
28,8	4,1	32,8	24,7	3,6	1,0	5,0

### Коэффициенты, характеризующие:

– долю потерь теплоты, обусловленную содержанием СО в продуктах сгорания	R	1
– влияние тепла на выход NO <sub>2</sub>	$\beta_1$	0,9
– конструкцию горелок	$\beta_2$	1
– вид шлакоудаления	$\beta_3$	1
– эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку	$\varepsilon_1$	1
– снижение выбросов NO <sub>x</sub> при двухступенчатом дожигании	$\varepsilon_2$	1
– степень рециркуляции дымовых газов	$\gamma$	0
– выход оксидов азота (кг/т) условного топлива	$\psi$	5,9

**Решение.** По уравнению (6.13) теоретическое количество воздуха, необходимого для горения топлива заданного состава, равно:

$$V_0 = 0,0889 \cdot (C + 0,375 \cdot S) + 0,265 \cdot H - 0,0333 \cdot O = 0,0889 \cdot (24,7 + 0,375 \cdot 4,1) +$$

$$+ 0,265 \cdot 3,6 - 0,0333 \cdot 0,5 = 3,12 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

По уравнениям (6.15–6.18) теоретический объем продуктов сгорания топлива заданного состава равен

$$V_{\varepsilon}^* = V_{\text{RO}_2}^* + V_{\text{N}}^* + V_{\text{H}_2\text{O}}^* = 0,0186 \cdot (C + 0,375 \cdot S) + 0,79 \cdot V_0 +$$

$$+ 0,008 \cdot N + 0,11 \cdot H + 0,0124 \cdot W + 0,0161 \cdot V_0 = 0,0186 \cdot (24,7 +$$

$$+ 0,375 \cdot 4,1) + 0,79 \cdot 3,12 + 0,008 \cdot 1 + 0,111 \cdot 3,6 + 0,0124 \cdot 32,8 +$$

$$+ 0,161 \cdot 3,12 = 3,8173695 \approx 3,82 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

По уравнению (6.22) объем дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу котлами, равен

$$V^{\text{атм}} = B \cdot 10^{-3} [V_{\varepsilon}^* + (\varepsilon_{\text{yx}} - 1) \cdot V_0] \cdot [T_{\text{yx}} + 273] / 273 = 2 \cdot 500 \times$$

$$\times 10^{-3} [3,82 + (1,75 - 1) \cdot 3,12] \cdot [150 + 273] / 273 = 9,545 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

По уравнению (6.3) максимально разовый выброс золы равен

$$M_{\text{ТВ}} (G_{\text{ТВ}}) = \sum_{i=1}^m 0,01 B_i \cdot [(\alpha_{\text{yh}} \cdot A) + q_{\text{yh}} (Q_{\text{H}} / 32,7)] \cdot (1 - \eta_i^{\text{ош}}) =$$

$$= 2 \cdot 0,01 \cdot 500 \cdot [(0,85 \cdot 28,8) + 4,0 \cdot (11,48 / 32,7)] \cdot (1 - 0,85) = 38,83 \text{ г/с}.$$

По уравнению (6.4) максимально разовый выброс  $\text{SO}_2$  равен

$$M_{\text{SO}_2} (G_{\text{SO}_2}) = \sum_{i=1}^m 0,02 B_i \cdot S \cdot (1 - \eta_i^{\text{'}}) \cdot (1 - \eta_i^{\text{'\prime}}) =$$

$$= 2 \cdot 0,02 \cdot 500 \cdot 4,1 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0) = 73,8 \text{ г/с}.$$

По формулам (6.6), (6.7) максимально разовый выброс оксида углерода составит

$$G_{\text{CO}} = \sum_{i=1}^m 0,01 \cdot (q^{\text{хим}} \cdot R \cdot Q_{\text{T}}) / 1,013 \cdot B_i \cdot (1 - q_i^{\text{мех}} / 100) =$$

$$= 2 \cdot 0,001 \cdot (1,0 \cdot 1 \cdot 11,48) / 1,013 \cdot 500 \cdot 4,0 / 100 = 10,8792 \approx 11 \text{ г/с}.$$

По формуле (6.8) максимально разовый выброс оксидов азота составит

$$M_{\text{NO}_x} (G_{\text{NO}_x}) = \sum_{i=1}^m 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot \psi \cdot B_i \cdot Q_{\text{H}} \cdot (1 - q_{\text{мех}} / 100) \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r_1) \cdot \beta_1 \cdot \beta_{2i} \cdot \beta_{3i} \cdot \varepsilon_2 =$$

$$= 2 \cdot 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 5,9 \cdot 500 \cdot 11,48 \cdot \left(1 - \frac{4,0}{100}\right) \cdot 0,9 \cdot (1 - 1 \cdot 0) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,987 = 2 \text{ г/с}.$$

### Задания для самостоятельной работы

**Задача 1.** В котельной установлено два котла, работающих на угле. Определить объем дымовых газов, а также максимально разовые выбросы золы и оксидов серы, углерода, азота при следующих показателях: расчетный расход топлива на один котел составляет 900 г/с; температура отходящих газов в устье трубы равна 155 °С. Другие технические характеристики котла и топлива (состава угля), а также коэффициенты остаются неизменными (см. пример). Низшая теплота сгорания топлива составляет 11,48 МДж/кг.

**Задача 2.** В котельной установлен один котел, работающий на угле. Определить объем дымовых газов, а также максимально разовые выбросы золы и оксидов серы, углерода, азота при следующих показателях: расчетный расход топлива на один котел составляет 1000 г/с, температура отходящих газов в устье трубы равна 145 °С. Другие технические характеристики котла и топлива (состава угля), а также коэффициенты остаются неизменными (см. вышеприведенный пример). Низшая теплота сгорания топлива составляет 11,48 МДж/кг.

**Задача 3.** В котельной установлены три котла, работающих на угле. Определить объем дымовых газов, а также максимально разовые выбросы золы и оксидов серы, углерода, азота при следующих показателях: расчетный расход топлива на один котел составляет 800 г/с; температура отходящих газов в устье трубы равна 130 °С. Другие технические характеристики котла и топлива (состава угля), а также коэффициенты остаются неизменными (см. вышеприведенный пример). Низшая теплота сгорания топлива составляет 11,48 МДж/кг.

### Вопросы для самоконтроля

1. Почему тепловые электрические станции являются одними из крупнейших источников загрязнения атмосферы?
2. Что является целью нормирования выбросов тепловых электрических станций?
3. Какие выбросы при сжигании топлива котельными установками представляют наибольшую опасность для окружающей среды и человека? Почему?
4. Как уменьшить локальную приземную концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе?
5. Что такое ПДВ и ВСВ?

## 7. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

### Практическое занятие 7

#### Определение валового выброса аэрозолей в воздухе предприятия при нанесении лакокрасочных материалов

**Цель занятия:** определить валовое выделение окрасочного аэрозоля в воздухе ремонтного цеха предприятия при нанесении лакокрасочных материалов.

При нанесении на изделие защитных и декоративных покрытий используют различные шпатлевки, грунтовки, эмали и лаки, содержащие пленкообразующую основу (минеральные и органические пигменты, пленкообразователи и наполнители) и растворители или разбавители (в основном – это смеси легколетучих углеводородов ароматического ряда, эфиров, спиртов и т. п.)

Процесс покрытия на поверхности изделий заключается, как правило, в нанесении лакокрасочного материала (ЛКМ) и его сушке. При этом в воздух выделяются аэрозоль краски и пары компонентов растворителя, количество которых зависит от технологии окраски, производительности применяемого оборудования, состава ЛКМ и растворителей.

По завершении окраски и сушки летучих компонентов в изделии не остается, они практически полностью испаряются. Меньшая часть переходит в газообразное состояние во время окраски, а основная часть – при сушке.

Распыление ЛКМ сопровождается выделением аэрозоля краски, первоначальный состав которой идентичен составу наносимой смеси ЛКМ с растворителем (разбавителем). Спустя некоторое время растворитель из жидких капель аэрозоля переходит в газовую фазу, и аэрозоль краски уже представляет собой смесь воздуха с твердыми частицами сухого остатка ЛКМ. Способом (технологией) распыления определяется доля общего количества краски, переходящая в момент нанесения покрытия в аэрозоль, уносимый в окружающее пространство мимо окрашиваемого изделия и попадающий в вытяжную вентиляционную систему. Нанесение ЛКМ без распыления (кистью, окунанием, обливом и др.), так же как и ручное выравнивание поверхностей шпатлеванием, не сопровождается образованием аэрозоля краски.

ЛКМ может разбавляться растворителями (разбавителями) до определенной вязкости согласно требованиям технологии конкретного способа нанесения. Так, при пневматическом распылении в грунтовки, эмали и другие ЛКМ добавляется соответствующий растворитель приблизительно в количестве 1/3 от объема исходного ЛКМ. Поскольку содержание растворителей в шпатлевке невелико, учитывать их отдельно считается нецелесообразным, а рекомендуется включать в расход растворителей при окраске и сушке.

Окраска и сушка производится как в специализированных камерах (шкафах и т. п.), так и просто в помещении окрасочных участков.

Расчет выделения ЗВ на участках окраски проводят отдельно для окрасочного аэрозоля (сухого остатка) и компонентов растворителей, для грунтовки, ручной подкраски и послойного нанесения многослойных покрытий ЛКМ, а также для окраски и сушки.

Общее валовое выделение летучих компонентов растворителей и разбавителей по данным материального баланса должно равняться расходу растворителей, разбавителей и летучей части исходных ЛКМ, используемых на рассматриваемом участке за соответствующий период времени (месяц, квартал, год). Общий валовый выброс летучих компонентов в атмосферу всех вентиляционных систем соответствует разнице между их общим валовым выделением и суммарным уловом компонентов в действующих газоочистных устройствах на рассматриваемом участке [16].

### Методические указания к выполнению задания

1. Валовое выделение (т/год) аэрозоля краски в процессе окраски рассчитывается по формуле

$$M_{\text{аэр}} = Z_{\text{кр}} \cdot \Delta_{\text{сух}} \cdot \delta_{\text{аэр}} \cdot 10^{-4}, \quad (7.1)$$

где  $Z_{\text{кр}}$  – количество израсходованного исходного ЛКМ, т/год;

$\Delta_{\text{сух}}$  – доля сухого остатка в исходном ЛКМ, %;

$\delta_{\text{аэр}}$  – доля ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля, % (значения приведены в табл. 7.1).

Таблица 7.1

Доля ЛКМ, теряемого в виде аэрозоля

Способ окрашивания (распыления)	$\delta_{\text{аэр}}$ , %
Пневматическое	30
Безвоздушное	2,5
Пневмоэлектростатическое	3,5
Электростатическое	0,3

2. Валовое выделение (т/год)  $i$ -го летучего компонента в процессе окраски определяется формулой

$$M_i^{\text{ок}} = Z_{\text{кр}} \cdot \left(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}\right) \cdot \varphi_i^{\text{кр}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4}, \quad (7.2)$$

а в процессе сушки:

$$M_i^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}} \cdot \left(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}\right) \cdot \varphi_i^{\text{кр}} \cdot \beta_i^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{суш}} \cdot 10^{-4}, \quad (7.3)$$

где  $Z_{\text{раст}}$  – количество растворителя, израсходованного за год на разбавление исходного ЛКМ до требуемой вязкости, т/год;

$\varphi_i^{\text{кр}}$  ( $\varphi_i^{\text{раст}}$ ) – доля  $i$ -го компонента в летучей части исходного ЛКМ (в растворителе-разбавителе), %;

$\beta_i^{ок} (\beta_i^{суш})$  – доля растворителя, испаряющаяся за время окраски (сушки), значения приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Доля растворителей, испаряющихся при окраске

Способ распыления	$\beta_i^{ок} (\beta_i^{суш})$
Пневматическое	25 (75)
Безвоздушное	23 (77)
Пневмоэлектростатическое	20 (80)
Электростатическое	50 (50)

3. Максимальное разовое выделение (г/с) ЗВ определяется для наиболее напряженного времени работы участка (специализированной камеры, печи), когда расходуется наибольшее количество ЛКМ, по формуле

$$G_i^{aэp} = M_{max} \cdot 10^6 / 3600 \cdot n \cdot t, \quad (7.4)$$

где  $M_{max}$  – валовое выделение  $i$ -го компонента растворителя (аэрозоля краски) за месяц наиболее напряженной работы ( $M_i^{ок}$ ,  $M_i^{суш}$  или  $M_i^{aэp}$ ), т/мес.;

$n$  – число дней работы участка (камеры, печи) в этом месяце, дней/мес.;

$t$  – среднее чистое время работы (окраски, сушки) участка (камеры, печи) за день в наиболее напряженный месяц, ч/день.

**Пример 1.** Для окраски крупногабаритных деталей методом пневматического распыления на специализированной площадке ремонтного цеха за год расходуется 11,2 т эмали НЦ-25. Определите годовые валовые выделения и выброс окрасочного аэрозоля.

**Решение.** Доля сухого остатка в эмали составляет 34 %. По уравнению (7.1) валовое выделение окрасочного аэрозоля составляет

$$M_{aэp} = Z_{кр} \cdot \Delta_{сух} \cdot \delta_{aэp} \cdot 10^{-4} = 11,2 \cdot 34 \cdot 30 \cdot 10^{-4} = 1,142 \text{ т/год.}$$

**Пример 2.** Определите максимальное разовое выделение аэрозоля для условий предыдущего примера, если работа весь год велась равномерно при среднем количестве рабочих дней в месяц – 22 и среднем чистом времени окраски 2 ч/день.

**Решение.** Валовое выделение аэрозоля за месяц по результатам решения примера 1 составит

$$M_{max} = 1,142 / 12 = 0,0952 \text{ т/год.}$$

По уравнению (7.4) максимальное разовое выделение окрасочного аэрозоля равно

$$G_i^{aэp} = M_{max} \cdot 10^6 / (3600 \cdot n \cdot t) = 0,0952 \cdot 10^6 / (3600 \cdot 22 \cdot 2) = 0,60 \text{ г/с.}$$

**Пример 3.** Для окраски методом безвоздушного распыления металлоконструкций использовано за год 50 т эмали МЛ-12 и 18 т растворителя №649. Окраска и сушка проводились в разных камерах. Определите валовый



выброс летучих ЗВ отдельными вентиляционными системами камер, не имеющими устройств очистки.

**Решение.** Исходная эмаль МЛ-12 состоит на 35 % из сухого остатка, а также летучей части, содержащей 10 % бутилового спирта и 90 % уайт-спирита. Растворитель №649 состоит из 50 % ксилола, 30 % этилцеллозольва, 20 % изобутилового спирта.

Валовый выброс ЗВ при отсутствии очистки равен их валовому выделению.

По уравнению (7.2) при окраске вещества выделяются в следующих количествах:

а) бутиловый спирт:

$$M_{\text{бут.спирт}}^{\text{ок}} = Z_{\text{кр}} \cdot (1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \varphi_i^{\text{кр}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 =$$
$$= 50 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 10 \cdot 23 \cdot 10^{-4} + 0 = 0,745 \text{ т/год};$$

б) уайт-спирит:

$$M_{\text{уайт.спирит}}^{\text{ок}} = Z_{\text{кр}} \times (1 - \Delta_{\text{сух}} \times 10^{-2}) \times \varphi_i^{\text{кр}} \times \beta_i^{\text{ок}} \times 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \times \varphi_i^{\text{раст}} \times \beta_i^{\text{ок}} \times 10^{-4} + 0 =$$
$$= 50 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 90 \cdot 23 \cdot 10^{-4} + 0 = 6,728 \text{ т/год};$$

в) ксилол:

$$M_{\text{кс}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 = 0 + 18 \cdot 50 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 2,070 \text{ т/год};$$

г) этилцеллозольв:

$$M_{\text{эт}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 = 0 + 18 \cdot 30 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 1,242 \text{ т/год};$$

д) изобутиловый спирт:

$$M_{\text{из.сп}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} = 0 + 18 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 0,828 \text{ т/год}.$$

При сушке вещества выделяются в следующих количествах:

а) бутиловый спирт:

$$M_{\text{бут.спирт}}^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}} \times (1 - \Delta_{\text{сух}} \times 10^{-2}) \times \varphi_i^{\text{кр}} \times \beta_i^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + 0 = 50 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 10 \cdot 77 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,503 \text{ т/год};$$

б) уайт-спирит:

$$M_{\text{уайт.спирит}}^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}} \times (1 - \Delta_{\text{сух}} \times 10^{-2}) \times \varphi_i^{\text{кр}} \times \beta_i^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + 0 = 50 \times (1 - 35 \times 10^{-2}) \times 90 \times 77 \times 10^{-4} + 0 = 22,52 \text{ т/год};$$

в) ксилол:

$$M_{\text{кс}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \times \varphi_i^{\text{раст}} \times \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 = 0 + 18 \cdot 50 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 6,930 \text{ т/год};$$

г) этилцеллозольв:

$$M_{\text{эт}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \varphi_i^{\text{раст}} \cdot \beta_i^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 = 0 + 18 \cdot 30 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 4,158 \text{ т/год};$$

д) изобутиловый спирт:

$$M_{\text{из.сп}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \times \varphi_i^{\text{раст}} \times \beta_i^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} = 0 + 18 \cdot 20 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 2,772 \text{ т/год}.$$

Проверка производится по материальному балансу:

$$Z_{\text{раст}} = M_{\text{кк}}^{\text{ок}} + M_{\text{кк}}^{\text{суш}} + M_{\text{эт}}^{\text{ок}} + M_{\text{эт}}^{\text{суш}} + M_{\text{из.сп}}^{\text{ок}} + M_{\text{из.сп}}^{\text{суш}}$$

$$18 = 2,070 + 6,930 + 1,242 + 4,158 + 0,828 + 2,772$$

$$18 = 18.$$

Баланс по растворителю соответствует, значит, решение верно:

$$Z_{\text{кр}} \times (1 - \Delta_{\text{сух}} \times 10^{-2}) = M_{\text{бут.спирт}}^{\text{ок}} + M_{\text{бут.спирт}}^{\text{суш}} + M_{\text{уйт-спирит}}^{\text{ок}} + M_{\text{уйт-спирит}}^{\text{суш}}$$

$$50 \cdot (1 - 0,35) = 0,745 + 2,503 + 6,728 + 22,253$$

$$32,5 = 32,5.$$

Баланс по летучей части исходного ЛКМ соответствует, значит, решение верно.

**Пример 4.** Определите максимальный разовый выброс ксилола из вытяжной системы сушильной камеры, учитывая, что валовый выброс ксилола составил 6,545 т/год, работа велась равномерно в течение 10 мес. при среднем количестве рабочих дней в месяц – 22, среднее чистое время сушки при двухсменной работе – 7,5 ч/день.

**Решение.** Валовое выделение ксилола за месяц наиболее напряженной работы составит

$$M_{\text{max}} = 6,545 / 10 = 0,6545 \text{ т/мес.}$$

Таким образом, максимально разовое выделение ксилола равно

$$G_{\text{аэр}} = M_{\text{max}} \cdot 10^6 / (3600 \cdot n \cdot t) = 0,6545 \cdot 10^6 / (3600 \cdot 22 \cdot 7,5) = 1,01 \text{ г/с.}$$

### Задания для самостоятельной работы

**Задача 1.** Для окраски крупногабаритных деталей методом пневматического распыления на специализированной площадке ремонтного цеха за год расходуется 8 т эмали НЦ-25. Доля сухого остатка в эмали составляет 34 %. Определить годовые валовые выделения и выброс окрасочного аэрозоля при отсутствии очистки.

**Задача 2.** Для окраски методом пневматического распыления металлоконструкций использовано за год 5 т эмали МЛ-12 и 2 т растворителя №649. Окраска и сушка проводились в разных камерах с единой вентиляционной системой. Исходная эмаль МЛ-12 состоит на 35 % из сухого остатка, а также из летучей части, содержащей 10 % бутилового спирта и 90 % уайт-спирита. Растворитель №649 состоит из 50 % ксилола, 30 % этилцеллозольва, 20 % изобутилового спирта. Определить валовый выброс летучих ЗВ с учетом того, что очистка выбросов не проводилась.

**Задача 3.** Для окраски методом безвоздушного распыления металлоконструкций использовано за год 10 т эмали МЛ-12 и 5 т растворителя №649. Окраска и сушка проводились в разных камерах. Исходная эмаль

МЛ-12 состоит на 35 % из сухого остатка, а также из летучей части, содержащей 10 % бутилового спирта и 90 % уайт-спирита. Растворитель №649 состоит из 50 % ксилола, 30 % этилцеллозольва, 20 % изобутилового спирта. Определить валовый выброс летучих ЗВ отдельными вентиляционными системами камер, не имеющими устройств очистки.

**Задача 4.** Определить максимально разовый выброс ксилола из вытяжной системы сушильной камеры, учитывая, что валовый выброс ксилола составил 10 т/год, работа велась равномерно в течение 10 мес. при среднем количестве рабочих дней в месяц – 22, среднем чистом времени сушки при двухсменной работе – 8 ч/день.

**Задача 5.** Определить максимально разовый выброс паров уайт-спирита из вытяжной системы сушильной камеры, учитывая, что его валовый выброс составил 6 т/год, работа велась равномерно в течение 12 мес. при среднем количестве рабочих дней в месяц – 25, среднем чистом времени сушки при двухсменной работе – 8 ч/день.

**Задача 6.** Определить максимально разовый выброс изобутилового спирта из вытяжной системы сушильной камеры, учитывая, что валовый выброс изобутилового спирта составил 1 т/год, работа велась равномерно в течение 6 мес. при среднем количестве рабочих дней в месяц – 22, среднем чистом времени сушки при двухсменной работе – 7 ч/день.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. От каких условий зависит поступление в воздух производственного помещения аэрозолей краски и растворителей?
2. В чем опасность летучих компонентов во время окраски изделия в закрытом помещении или производственном цеху?
3. Как рассчитать количество летучих загрязняющих веществ на участках окраски?
4. Назовите способы окрашивания и преимущества каждого из них.
5. Что такое валовое выделение летучих компонентов краски и растворителей?

## 8. ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА

Одной из форм параметрического загрязнения среды является шум. С физиологической точки зрения под шумом понимается комплекс звуков, вызывающих неприятное ощущение или разрушающих орган слуха. С физической точки зрения шум – это беспорядочные колебания упругой среды, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. К шуму относятся практически любые звуки, выходящие за рамки звукового комфорта.

Источником акустических шумов могут быть любые нежелательные механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах. Различают *механический шум*, вызываемый вибрацией, соударением твердых тел; *аэро- и гидродинамический*, возникающий в турбулентных потоках газов и жидкостей в результате флуктуаций давления; *термодинамический*, обусловленный флуктуациями плотности газа (например в процессе горения), а также резким повышением давления (например при взрыве и электрическом разряде); *кавитационный*, связанный с захлопыванием газовых полостей и пузырьков в жидкостях (кавитацией).

Шум воздействует на самые тонкие и чувствительные рецепторы, которые содержат механические, гидравлические и нейронные компоненты, выполняющие широкий диапазон функций, имеющих основополагающее значение для самочувствия человека. Ухо не только пассивное устройство для регистрации звука, оно неразрывно связано с механизмами, управляющими вниманием, играет ключевую роль в передаче речи и служит промежуточным органом для восприятия разнообразного эстетического опыта. Вредное воздействие шума на организм может проявляться как в виде специфического поражения органов слуха, так и в виде нарушений других органов и систем, в первую очередь центральной нервной системы.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты. Диапазон восприятия распространяется от 16 до 20 000 Гц, наибольшая чувствительность находится в пределах от 2000 до 4000 Гц.

По характеру воздействия различают три группы шумов. Первую группу составляют шумы в пределах от 30 до 65 дБ, причем шумы на уровне 45 дБ считаются успокаивающими. К ним относится шум листвы деревьев, морского прибоя, пения птиц и другие аналогичные им шумы. Вторая группа – шумы в пределах от 65 до 90 дБ. Они мешают восприятию нормальной разговорной речи. Третья группа – шумы на уровне от 90 до 120 дБ, вызывающие неприятные, часто болевые ощущения в ушах и способствующие возникновению болезненных явлений. Болевым порогом считается уровень шума в 120 дБ.

Влияние шумов становится опасным при 75 дБ, болезненным – при 120 дБ (при 140 дБ возможен разрыв барабанной перепонки), смертельным – при 180 дБ. Особенно вреден шум на частотах 1000–4000 Гц. В большинстве стран

устанавливают верхний предел типовых значений шума на уровне 140 дБ для любого единичного воздействия. Установлено: высокий уровень шума снижает производительность труда на 15–20 %, повышает уровень преступности. Во время отдыха и сна, когда происходит наиболее полное восстановление нервной системы, повышение шума до 40–45 дБ может нарушить сон и даже вызвать бессонницу и головокружения.

В табл. 8.1 приведены примеры шумового воздействия на организм человека.

Таблица 8.1

Воздействие обычных шумов

Пример шумового воздействия	Уровень звукового давления, дБА	Эффект продолжительного воздействия
Реактивный двигатель при взлете самолета (расстояние – 25 м)	150	Разрыв барабанных перепонок
Удар грома, рок-музыка, пневматический молоток	120	Порог болевого ощущения
Автомобильный гудок (расстояние – 1 м)	110	Серьезная угроза для слуха (время воздействия – 8 ч)
Метро, трактор, мотоцикл, ткацкая фабрика, отбойный молоток	100	
Оживленная улица, дизельный грузовик, миксер	90	Угроза для слуха (время воздействия – 8 ч), плохая слышимость
Концертный зал	85	Возможна угроза для слуха
Товарный поезд (расстояние – 15 м), поездка в метро	80	
Скоростная магистраль (расстояние – 15 м), центр города, телевизор, пылесос, шумный офис	70	Раздражающее действие, утомляемость
Улица со средней интенсивностью движения	65	
Обычный офис, музыкальный фон, чирикание птиц	60	Интенсивное воздействие
Спокойный пригород (дневное время), разговор в жилой комнате, кинотеатр	50	Слабое воздействие
Библиотека	40	
Спокойная сельская местность (ночью)	30	
Шепот, шелест листьев	20	Очень слабое воздействие
Дыхание	10	
Полное отсутствие любого шумового воздействия	0	Критический уровень слышимости

Шумовое воздействие на человека имеет целый спектр разнообразных негативных последствий: развитие тугоухости; нарушение функционирования вестибулярного аппарата; повышение внутричерепного давления; влияние на протекание обменных процессов, светочувствительный аппарат, биоэлектрическую активность мозга (депрессия  $\alpha$ -ритма), сердечно-сосудистую систему (риск гипертонической болезни); развитие язвенной болезни и вегетососудистой дистонии; повышение уровня общей и профессиональной заболеваемости; развитие утомления.

В зависимости от происхождения различают промышленные, транспортные и жилищно-бытовые шумы. В городе основным источником шума является транспорт: автомобильный, рельсовый, воздушный. В общем шумовом фоне города, удельный вес транспортного шума составляет не менее 60–80 %. Общий шум магистрали определяется прежде всего шумом работающих двигателей грузовых автомобилей и автобусов. Максимальные уровни звукового давления создают автомобили МАЗ (80–100 дБА). Внешние шумы железнодорожного транспорта составляют относительно небольшую долю шумов, но отличаются высокими уровнями (90–100 дБА) и глубоко проникают в глубь селитебной территории. Для многих крупных городов возросшая интенсивность воздушных перевозок, появление новых более мощных типов самолетов и вертолетов и недопустимо близкое расположение жилой застройки к аэродромам и аэропортам становится проблемой.

Внутриквартальными источниками шума являются спортивные игры на площадках массового активного отдыха, хозяйственная деятельность людей (разгрузка товаров у магазинов, работа мусороуборочных машин, машинная стрижка газонов, игра на музыкальных инструментах, трансформаторные подстанции. Уровень звукового давления этих шумов составляет 60–75 дБА, для мощных трансформаторов – до 90 дБА.

Шумовой режим квартир формируется из проникающего внешнего шума и шума, образующегося в результате эксплуатации инженерно-технологического и санитарно-технического оборудования зданий: лифтов, насосов подкачки воды, мусоропроводов, вентиляции, холодильного оборудования встроенных предприятий торговли и общественного питания (68–83 дБА вблизи источника). Значительным источником шума является звуковоспроизводящая аппаратура, музыкальные инструменты и бытовая техника (60–80 дБА).

В среднем в настоящее время 30–40 % городского населения работают и проживают в условиях акустического дискомфорта. В комплекс мероприятий по защите населения от городского шума входят непосредственное снижение шума в месте его возникновения, архитектурно-планировочные и архитектурно-строительные работы (удаление от источников шума, экранирование). Одним из наиболее часто используемых способов является создание защитных полос и применение специальных шумозащитных экранов, которые за счет поглощения и увеличения пути прохождения звуковой волны позволяет снизить уровень шума на 15–25 дБ [17].

## Практическое занятие 8

### Определение уровня шума от транспортного потока

**Цель занятия:** с помощью номографического метода определить уровень шума от транспортного потока.

Задача решается с помощью номографического метода, позволяющего прогнозировать уровень транспортного шума, когда число дизельных экипажей в потоке составляет не более 10% от общей интенсивности движения; полотно автомагистрали находится в нулевых отметках [17].

Номограмма состоит из набора калибровочных шкал, включающих показатели средневзвешенной скорости потока  $v$ , суммарного процента грузовых общественных экипажей  $\rho$ , интенсивности движения в натуральных единицах  $N_1$  и  $N_2$ , уровня фона на рассматриваемой территории  $L_{фон}$ .

Прогнозируемый эквивалентный уровень шума  $L_{эқв}$  определяется путем алгебраического сложения трех слагаемых  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$ ,  $\Delta L_3$ , определяемых по номограмме (рис. 8.1).

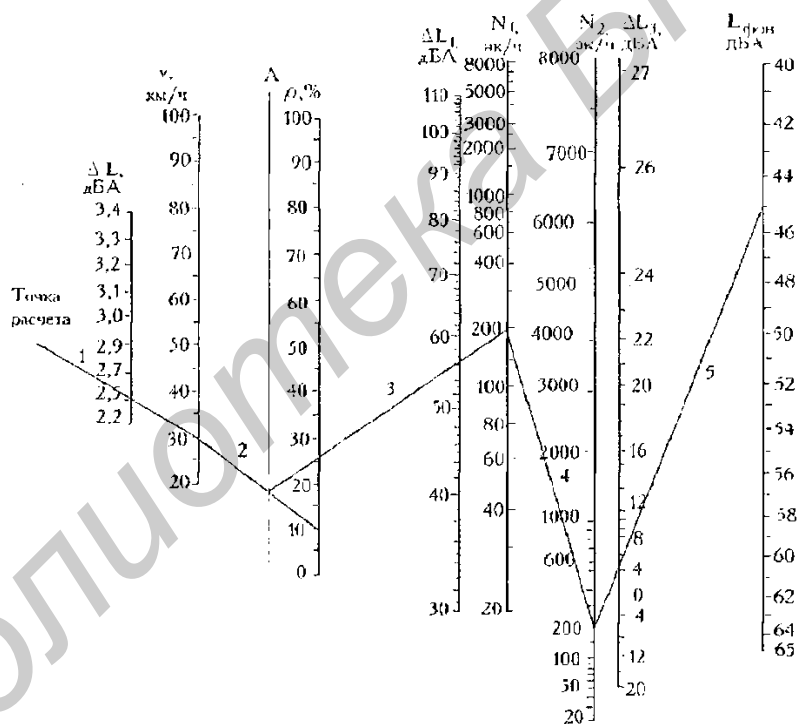


Рис. 8.1. Номограмма для определения ориентировочных уровней звука транспортного шума

#### Методические указания к выполнению задания

**Пример 1.** Определить уровень шума, если интенсивность движения в двух направлениях на автомагистрали в час пик, проходящей через проектируемый район, составит 200 экипажей в час; средневзвешенная скорость потока – 30 км/ч, процент грузовых и общественных экипажей – 10 %, уровень фона для рассматриваемого района города – 45 дБА.

**Решение.** Ориентировочный уровень шума определяется с помощью номограммы следующим образом. Исходную точку расчета соединяем прямой с показателем 30 шкалы скорости  $v$ . На шкале  $\Delta L_1$  получаем показатель 2,5 дБА. Соединяем показатель 30 на шкале  $v$  с показателем 10 на шкале  $\rho$  и фиксируем точку пересечения  $A_1$  на шкале  $A$ . Соединяем точку  $A_1$  с заданной интенсивностью 200 на шкале  $N_1$ . Пересечение этой линии со шкалой  $\Delta L_1$  дает показатель 57 дБА. Показатель 200 на шкале  $N_1$  с аналогичным показателем на шкале  $N_2$ . Полученную точку соединяем с показателем 45 на шкале  $L_{\text{фон}}$  и находим точку пересечения со шкалой  $\Delta L_3$ , которая определяет показатель 4,5 дБА. Прогнозируемый эквивалентный уровень шума составит

$$L_{\text{экв}} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 = 2,5 + 57 + 4,5 = 64 \text{ дБА}, \quad (8.1)$$

**Задание.** Определить уровень шума от транспортного потока при следующих исходных данных (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	Интенсивность движения в двух направлениях	Средневзвешенная скорость потока	Процент грузовых и общественных экипажей	Уровень фона
1	20	20	5	40
2	30	40	5	45
3	40	40	10	44
4	60	50	5	48
5	60	50	20	50
6	80	60	5	52
7	80	60	10	50
8	100	60	15	55
9	100	60	20	56
10	200	60	40	57

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое шумовое загрязнение окружающей среды?
2. Как можно охарактеризовать уровень шума в 15–25 дБ, и что такое критический уровень слышимости?
3. В чем заключается опасность шумового воздействия для организма? Каковы последствия воздействия шума на человека?
4. Когда влияние шумов становится болезненным, а когда – смертельным?
5. Назовите шумы по происхождению и характеру воздействия, сравните их. В чем заключается эффект продолжительного действия каждого из них?



## 9. ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Особую значимость и актуальность приобретает проблема прогрессирующего накопления твердых бытовых отходов (ТБО), возникающих в местах жизнедеятельности человека. Основными источниками загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами являются различные промышленные предприятия, автомобильный транспорт, теплоэнергетические установки. Несвоевременный сбор и удаление, неправильное или недостаточное их обезвреживание приводят не только к ухудшению санитарного состояния населенных мест, но и к возникновению пожаров, инфекционных заболеваний, заражения почвы, воды, воздуха и др.

**Твердые бытовые отходы** – совокупность твердых веществ и пищевых отбросов, образующихся в бытовых условиях. ТБО, которые не представляют опасности для человека, подразделяются на бумагу, картон, отходы с содержанием древесины, металл черный и цветной, стекло, резину и полимерные материалы. К опасным ТБО относятся: непригодные для эксплуатации батарейки и аккумуляторы, электроприборы, остатки лакокрасочных веществ в таре, ядохимикаты, бытовая химия, медицинские препараты, термометры на основе ртути, энергосберегающие лампы. ТБО характеризуются многокомпонентностью и неоднородностью состава, малой плотностью, способностью к загниванию. По характеру и степени воздействия на окружающую среду они делятся на три класса: I класс – чрезвычайно опасные отходы (производственный мусор, вторичное сырье); II класс – высокоопасные отходы; III класс – умеренно опасные отходы.

Современные полигоны ТБО – это комплексные сооружения, предназначенные для обезвреживания и захоронения отходов (рис. 9.1).

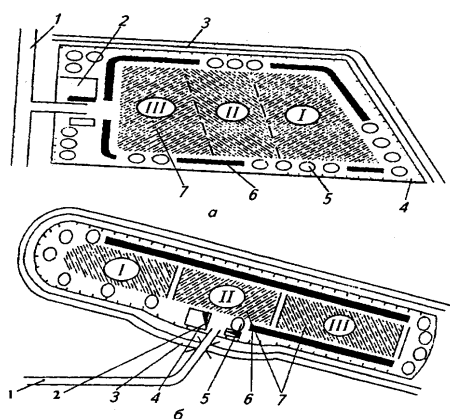


Рис. 9.1. Схема размещения основных сооружений полигона [18]:

- а* – при соотношении длины и ширины полигона 2:1;  
*б* – при соотношении более 3:1; 1 – подъездная автодорога;  
 2 – хозяйственная зона; 3 – нагорный канал; 4 – ограждение;  
 5 – зеленая зона; 6 – кавальер минерального грунта для изоляции  
 слоев ТБО; 7 – участки складирования отходов; I, II, III – очереди  
 эксплуатации

*Полигон ТБО* – земляное сооружение, проектируемое для охраны окружающей среды с максимальным использованием преимуществ отведенного участка и свойств отходов. Складирование на полигоне является самым распространенным методом обезвреживания твердых бытовых отходов. Каждый полигон имеет особенности проектирования, зависящие от местных условий [18].

Основная цель проектирования полигона – защита почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод от загрязнения продуктами разложения бытовых отходов при экономном использовании отведенных под складирование площадей. Эта цель достигается:

- изоляцией отходов, которая обеспечивает полную санитарно-эпидемиологическую безопасность населения, проживающего за пределами санитарно-защитной зоны, а также обслуживающего полигон персонала;
- обеспечением статической устойчивости складированных отходов с учетом динамики уплотнения, газовыделения и гидрологических условий;
- возможностью рационального использования земельного участка после закрытия полигона.

Размеры земельных участков, отводимых под полигон, рассчитываются из условия 0,02–0,05 га на 1000 т ТБО. Теоретическая вместимость полигона на расчетный срок эксплуатации (15–30 лет) определяется по формуле

$$V_{\Pi} = (Y_1 + Y_2) \cdot (N_1 + N_2) \cdot T \cdot K_2 / 4K_1, \quad (9.1)$$

где  $Y_1, Y_2$  – удельные годовые нормы накопления отходов в первый и последний годы эксплуатации полигона, т/чел.;

$N_1, N_2$  – численность населения, обслуживаемого полигоном, на первый и последний годы эксплуатации, чел.;

$T$  – расчетный срок эксплуатации полигона, годы;

$K_1$  – коэффициент уплотнения ТБО, равный отношению плотности ТБО после уплотнения к плотности ТБО, доставляемых мусоровозами на полигон (зависит от массы грунтоуплотняющей машины и толщины изолирующего слоя);

$K_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение объема полигона за счет устройства наружных и внутренних изолирующих слоев (зависит от изолирующего материала – грунта, забираемого из основания полигона).

Удельная годовая норма накопления ТБО по объему за второй год эксплуатации определяется из условия ее ежегодного роста по объему на 3%, т. е.  $U_2 = U_1 + (1,03)T$ .

Коэффициент  $K_1$ , учитывающий уплотнение ТБО в процессе эксплуатации полигона за весь срок  $T$  определяется по табл. 9.1 с учетом массы бульдозера или катка.

Таблица 9.1

Возможные значения коэффициента  $K_1$

Масса бульдозера или катка, т	Полная проектируемая высота полигона, м	$K_1$
3–6	20–30	3,0
12–14	менее 20	3,7
12–14	20–30	4,0
20–22	50 и более	4,5

Коэффициент  $K_2$ , учитывающий объем изолирующих слоев грунта в зависимости от общей высоты, определяется по табл. 9.2.

Таблица 9.2

Возможные значения коэффициента  $K_2$

Высота, м	5,25	7,50	9,75	12–15	16–39	40–50	Более 50
$K_2$	1,37	1,27	1,25	1,22	1,20	1,18	1,16

Площадь участка складирования ТБО ( $S_{y.c}$ ) определяется по формуле

$$S_{y.c} = 3V_{\Pi} / H, \quad (9.2)$$

где  $H$  – проектируемая высота полигона, м.

Требуемая площадь полигона вычисляется по формуле:

$$S = 1,1 S_{y.c} + S_{\text{доп}}, \quad (9.3)$$

где  $S_{\text{доп}}$  – площадь участка хозяйственной зоны и площадки мойки контейнера (в среднем  $S_{\text{доп}} = 1,0$  га).

Нормируемый размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) полигона составляет 500 м. Создание полигонов и СЗЗ вокруг них требует отчуждения больших земельных площадей (40–200 га). Полигоны нельзя размещать ближе 15 км от аэропортов. Не допускается размещение полигонов на территории 1-го и 2-го поясов зон санитарной охраны водных источников, в местах массового отдыха населения и оздоровительных учреждений.

При выборе участка для размещения полигона учитывают гидрологические условия местности. Грунтовые воды на участке полигона должны залегать на

глубине более 2 м. Нельзя использовать под полигоны болота, затопляемые территории, районы геологических разломов. Предпочтение отдается участкам залегания водоупорных пород – глин, суглинков.

На количественную характеристику выбросов загрязняющих веществ с полигонов отходов влияет большое количество факторов, среди которых: климатические условия; рабочая (активная) площадь полигона; сроки эксплуатации полигона; количество захороненных отходов; мощность слоя складированных отходов; соотношение количества завезенных бытовых и промышленных отходов; морфологический состав отходов; влажность отходов; содержание органической составляющей в отходах; содержание жироподобных, углеводородных и белковых веществ в органике отходов; технология захоронения отходов.

Продуктом анаэробного разложения органической составляющей отходов является биогаз, представляющий собой в основном смесь метана и углекислого газа. Система сбора биогаза состоит из нескольких рядов вертикальных колодцев (газодренажных скважин) или горизонтальных траншей. Последние заполнены песком или щебнем и перфорированными трубами.

Удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении применительно к абсолютно сухому веществу отходов определяется по уравнению

$$Q = 10^{-4} R \cdot (0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (9.4)$$

где  $Q$  – удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов;

$R$  – содержание органической составляющей в отходах, %;

$Ж$  – содержание жироподобных веществ в органике отходов, %;

$У$  – содержание углеводородных веществ в органике отходов, %;

$Б$  – содержание белковых веществ в органике отходов, %.

$R$ ,  $Ж$ ,  $У$  и  $Б$  определяются анализами забираемых проб отходов.

В реальных условиях отходы содержат определенное количество влаги, которая сама по себе биогаз не генерирует. Следовательно, выход биогаза, отнесенный к единице веса реальных влажных отходов, будет меньше, чем отнесенный к той же единице абсолютно сухих отходов в  $10^{-2} (100 - W)$  раз, т. е. в весовой единице влажных отходов абсолютно сухих отходов, генерирующих биогаз, будет всего  $10^{-2} (100 - W)$  от этой единицы (здесь  $W$  – фактическая влажность отходов, определенная анализаторами проб отходов, %).

С учетом вышесказанного уравнение выхода биогаза при метановом брожении реальных влажных отходов принимает следующий вид:

$$Q_w = 10^{-6} R (100 - W) (0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (9.5)$$

где множитель  $10^{-2} (100 - W)$  учитывает долю абсолютно сухих отходов в общем количестве реальных влажных отходов.

Количественный выход биогаза за год (кг/т отходов в год), отнесенный к одной тонне отходов, определяется по формуле

$$P_{уд} = \frac{Q_w}{t_{сбр}}, \quad (9.6)$$

где  $t_{сбр}$  – период (количество лет) полного сбраживания органической части отходов, определяемый по приближенной эмпирической формуле

$$t_{сбр} = \frac{10248}{T_{тепл} \cdot t_{ср,тепл}^{0,301966}}, \quad (9.7)$$

где  $t_{ср,тепл}$  – средняя из среднемесячных температура воздуха в районе полигона твердых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО) за теплый период года ( $t > 0$ ), °С;

$T_{тепл}$  – продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО и ПО, дни;

10248 и 0,301966 – удельные коэффициенты, учитывающие термическое разложение органики.

Для определения плотности биогаза ( $\text{кг/м}^3$ ) применяется формула

$$\rho_{б.г} = 10^{-6} \sum_{i=1}^n C_i, \quad (9.8)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента в биогазе,  $\text{мг/м}^3$ .

Используя полученные при анализе концентрации компонентов в биогазе и рассчитанную его плотность, определяем весовое процентное содержание этих компонентов в биогазе:

$$C_{вес.i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_{б.г}}, \quad (9.9)$$

По рассчитанным количественному выходу биогаза за год, отнесенному к 1 т отходов, и весовым процентным содержаниям компонентов в биогазе определяются удельные массы компонентов ( $\text{кг/т}$  отходов в год):

$$P_{уд.i} = \frac{C_{вес.i} \times P_{уд}}{100}. \quad (9.10)$$

Для расчета величин выбросов подсчитывается количество активных отходов, стабильно генерирующих биогаз, с учетом того, что период стабильного активного выхода биогаза в среднем составляет 20 лет и что фаза анаэробного стабильного разложения органической составляющей отходов наступает спустя в среднем два года после захоронения отходов, т. е. отходы, завезенные в последние два года, не входят в число активных.

Таким образом, если полигон функционирует менее 20 лет, то учитываются все отходы, за исключением завезенных в последние два года, а если полигон функционирует более 20 лет, то учитываются только отходы, завезенные в последние 20 лет, за исключением отходов, ввезенных в последние два года.

Максимальные разовые выбросы  $i$ -го компонента биогаза с полигона ( $\text{г/с}$ ) определяются по формуле

$$M_i = 0,01 \cdot C_{\text{вес.}i} \cdot M_{\text{сум}}, \quad (9.11)$$

где

$$M_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{уд}} \sum D}{86,4 \cdot T_{\text{тепл}}}, \quad (9.12)$$

где  $\sum D$  – количество активных, стабильно генерирующих биогаз отходов, т.

Биогаз образуется неравномерно в зависимости от времени года. При отрицательных температурах процесс «мезофильного сбраживания» (до  $55^\circ\text{C}$ ) органической части ТБО и ПО прекращается, происходит так называемое «законсервирование» до наступления более теплого периода года ( $t_{\text{ср.мес}} > 0^\circ\text{C}$ ).

Приведенная формула для вычисления максимального разового выброса  $i$ -го компонента справедлива только в теплый период года ( $t_{\text{ср.мес}} > 8^\circ\text{C}$ ). При обследовании в более холодное время ( $0 < t_{\text{ср.мес}} \leq 8^\circ\text{C}$ ), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерения, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза, равный 1,3.

С учетом коэффициента неравномерности валовые выбросы  $i$ -го загрязняющего вещества с полигона (т/год) определяются по формуле

$$G_{\text{сум}} = M_{\text{сум}} \cdot \left( \frac{a \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{b \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12 \cdot 1,3} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (9.13)$$

$$G_i = 0,01 \cdot C_{\text{вес.}i} \cdot G_{\text{сум}}, \quad (9.14)$$

где  $a$  и  $b$  – периоды соответственно теплого и холодного времени года в месяцах ( $a$  – при  $t_{\text{ср.мес}} > 8^\circ\text{C}$ ,  $b$  – при  $0 < t_{\text{ср.мес}} \leq 8^\circ\text{C}$ ).

## Практическое занятие 9

### Определение основных показателей полигонов твердых бытовых отходов

**Цель занятия:** определить основные показатели полигонов твердых бытовых отходов, характеризующих степень их воздействия на окружающую среду.

**Задание.** Рассчитать площадь полигона твердых бытовых отходов и объем выделяющегося при разложении отходов биогаза в целом и по компонентам.

Ход выполнения задания:

1. Описать методику расчета площади полигона и объема биогаза.
2. Выполнить расчет площади полигона по данным (табл. 9.3 и 9.4).

3. Рассчитать удельный выход биогаза за период его активной стабилизированной генерации при метановом брожении и количественный выход биогаза за год.

4. Определить плотность выделяющегося биогаза, если концентрации его компонентов, полученные при анализе, следующие (мг/м<sup>3</sup>): CH<sub>4</sub> – 1,25; CO<sub>2</sub> – 0,78; N<sub>2</sub> – 0,02; H<sub>2</sub>S – 0,01.

5. Рассчитать весовое процентное содержание компонентов и их удельные массы, максимальные разовые выбросы и валовые выбросы. Сделать вывод.

Таблица 9.3

Варианты заданий для самостоятельной работы

Показатели	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Расчетный срок эксплуатации, лет	15	20	30	25	30	30	25	20	15	30	30	30	25	30	25
Численность населения, тыс. чел.:															
– в первый год;	58	75	105	84	59	110	35	26	45	52	34	47	86	95	78
– в последний год	61	79	112	88	65	116	39	30	48	61	41	52	92	103	82
Накопление отходов в первый год, т/чел.	0,28	0,25	0,29	0,24	0,26	0,25	0,29	0,31	0,32	0,24	0,27	0,26	0,28	0,24	0,20
Масса катка-уплотнителя, т	5	12	12	12	20	22	6	14	14	20	4	12	13	6	12
Проектируемая высота, м	25	15	25	30	50	55	30	18	20	55	23	30	16	26	21
Содержание органической составляющей, %	40	62	60	59	65	57	49	69	72	75	63	68	57	52	64
Содержание в органической составляющей веществ, %:															
– жироподобных;	12	16	25	18	26	34	17	22	12	14	21	20	16	18	19
– углеводородных;	35	42	38	24	31	22	27	21	29	19	18	22	26	20	24
– белковых	53	42	37	58	43	44	56	57	59	67	61	58	58	62	57
Влажных отходов, %	10	12	16	12	11	18	16	14	12	8	5	11	14	12	12

Таблица 9.4

Среднемесячные температуры воздуха в районе полигона

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °С	-10	-9	-4	+4	+12	+16	+18	+16	+10	+4	-2	-8

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое твердые бытовые отходы?
2. Какую опасность твердые бытовые отходы представляют для окружающей среды и человека?
3. Что представляет собой современный полигон ТБО, и каковы его характеристики?
4. Какие факторы влияют на выбросы загрязняющих веществ с полигонов?
5. Какова методика расчета выброса биогаза с полигона ТБО и отдельных его компонентов?

Библиотека БГУИР



## Литература

1. Витченко, А. Н. Геоэкология / А. Н. Витченко. – Минск : БГУ, 2002.
2. Асаенок, И. С. Основы экологии и экономика природопользования : учеб. пособие / И. С. Асаенок, Т. Ф. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2005.
3. СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения».
4. ГОСТ 17.1.2.04–77 «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов».
5. Алексеев, Л. С. Контроль качества воды / Л. С. Алексеев. – М. : ИНФРА-М, 2004.
6. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. – М., 2007.
7. Мелехов, И. С. Лесоведение : учебник для вузов / И. С. Мелехов. – М. : МГУЛ, 2004.
8. Экологические основы природопользования / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Высш. шк., 2002.
9. Экология, охрана природы, экологическая безопасность : учеб. пособие / под ред. А. Т. Никитина. – М. : МНЭПУ, 2002.
10. Природопользование, охрана окружающей среды и экономика / под ред. А. П. Хаустова. – М. : РУДН, 2006.
11. Рекомендации по определению допустимых вкладов в загрязнение атмосферы выбросов загрязняющих веществ предприятиями с использованием сводных расчетов загрязнения воздушного бассейна города (региона) выбросами промышленности. – СПб., 1999.
12. Шаприцкий, В. Н. Разработка нормативов предельно допустимых выбросов для защиты атмосферы: справочник / В. Н. Шаприцкий. – М. : Metallургия, 1990.
13. Инструкция по нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2007 г., №61.
14. Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов. 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2007.
15. Методы расчета приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе / под ред. В. Б. Прохорова. – М.: Высш. шк., 2002.
16. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – М. : ГНЦ Владос, 2003.
17. Зайцев, В. И. Промышленная экология / В. И. Зайцев. – М. : Бином, 2012.
18. Кузнецов, В. Л. Экологические проблемы твердых бытовых отходов. Сбор. Ликвидация. Утилизация : учеб. пособие / В. Л. Кузнецов, Н. М. Крапильская, Л. Ф. Юдина. – М. : ИПЦ МИКХиС, 2005.
19. Гринин, А. С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. – М. : Фаир-Пресс, 2002.

*Учебное издание*

**Телеш Инна Анатольевна**

**ЗЕМЛЯ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА  
И ЕЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ**

**ПОСОБИЕ**

Редактор *Е. С. Чайковская*

Корректор *Е. И. Герман*

Компьютерная правка, оригинал-макет *Е. Д. Степуть*

Подписано в печать 21.04.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,53. Уч.-изд. л. 4,5. Тираж 100 экз. Заказ 205.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,  
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6