

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ
сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 20.03.01 – «Техносферная безопасность»

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета*

Составитель: Козырь А.В.

Источники загрязнения среды обитания: сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 20.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.- 45

с.

© Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра безопасности жизнедеятельности, 2017
© Козырь А.В., составление, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Краткое содержание теоретического материала	5
Методические рекомендации к практическим занятиям	26
Методические рекомендации к самостоятельной работе	45

ВВЕДЕНИЕ

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель преподавания учебной дисциплины «Источники загрязнения среды обитания» — формирование представлений об основных источниках техногенного воздействия на среду обитания, протекающих в них процессах и сопровождающих эти процессы выбросах, сбросах, образующихся твердых отходах и энергетических воздействиях.

Задачи дисциплины – формирование знаний, умений и навыков идентификации указанных источников; овладение принципами определения уровней всех видов воздействий и ранжирования источников загрязнений по их негативному воздействию.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина «Источники загрязнения среды обитания» является обязательной дисциплиной вариативной части профессионального цикла и изучается в четвертом семестре. Дисциплина базируется на успешном освоении таких ранее изученных дисциплин как «Ноксология», «Медико-биологические основы безопасности» и связана с рядом других дисциплин математического, естественнонаучного и профессионального циклов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: основные техносферные опасности, их свойства и характеристики, характер воздействия вредных и опасных факторов на человека и природную среду;

уметь: идентифицировать основные опасности среды обитания человека, оценивать риск их реализации; определять состав, массовые и валовые показатели выбросов, сбросов, твердых отходов и уровни энергетических воздействий;

владеть: понятийно-терминологическим аппаратом в области безопасности; методами оценки экологической ситуации, навыками использования нормативных документов в области техносферной безопасности и различных методик расчета выбросов, сбросов, твердых отходов и уровней энергетических воздействий.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способность использовать методы определения нормативных уровней допустимых негативных воздействий на человека и природную среду (ПК-14);
- способность ориентироваться в основных проблемах техносферной безопасности (ПК-19)

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Лекция 1.

Предмет и задачи природопользования и охраны природы.

Природопользование (как практическая деятельность человека) — использование природных ресурсов в целях удовлетворения материальных и культурных потребностей общества.

Природопользование (как наука) — область знаний, разрабатывающая принципы рационального (разумного) природопользования.

Природопользование включает в себя:

- охрану и возобновление природных ресурсов и их переработку;
- использование и охрану природных условий среды жизни человека;
- сохранение, восстановление и рациональное изменение экологического равновесия природных систем;
- регуляцию воспроизводства человека и численности людей.

Классификация природопользования

Природопользование может быть общее и специальное в зависимости от необходимости разрешения на использование природных ресурсов.

Общее природопользование не требует специального разрешения. Оно осуществляется гражданами на основе принадлежащих им естественных (гуманитарных) прав, существующих и возникающих как результат рождения и существования (пользование воздухом, водой и т.д.).

Специальное природопользование осуществляется физическими и юридическими лицами на основании разрешения уполномоченных государственных органов. Оно носит целевой характер и по видам используемых объектов подразделяется на землепользование, пользование недрами, лесопользование, водопользование, пользование животным миром (дикими животными и птицами, рыбными запасами), использование атмосферного воздуха. Специальное природопользование регулируется экологическим законодательством.

В зависимости от последствий хозяйственной деятельности человека различают природопользование рациональное и нерациональное.

Рациональное природопользование — хозяйственная деятельность человека, обеспечивающая экономное использование природных ресурсов и условий, их охрану и воспроизводство с учетом не только настоящих, но и будущих интересов общества.

Нерациональное природопользование ведет к истощению (и даже исчезновению) природных ресурсов, загрязнению окружающей среды, нарушению экологического равновесия природных систем, то есть к экологическому кризису или катастрофе.

Понятие об охране природы.

Охрана природы (окружающей природной среды) — система международных, государственных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование, воспроизводство и охрану природных ресурсов и улучшение состояния природной среды в интересах удовлетворения материальных и культурных потребностей как существующих, так и будущих поколений людей.

Цели и задачи природопользования как науки. По Ю.Н. Куражковскому (1969), «задачи природопользования как науки сводятся к разработке общих принципов осуществления всякой деятельности, связанной либо с непосредственным использованием природой и ее ресурсами, либо с изменяющими ее воздействиями».

Основные цели природопользования как науки:

1. Рациональное размещение отраслей производства на Земле.
2. Определение целесообразных направлений пользования природными ресурсами в зависимости от их свойств.
3. Рациональная организация взаимоотношений между отраслями производства

при совместном пользовании угодьями:

а) исключение вредных влияний на природные ресурсы;
б) обеспечение воспроизводства для растущих производств — расширение воспроизводства используемых ресурсов;

в) комплексность пользования природными ресурсами.

4. Создание здоровой среды обитания для людей и полезных им организмов:

а) предупреждение ее загрязнения и заражения в результате человеческой деятельности;

б) ликвидация естественно существующих в ней вредных компонентов и недостаточностей.

5. Рациональное преобразование природы.

Виды природопользования. Многообразная деятельность человека, направленная на использование полезных ему свойств природы, условно сгруппирована в различные виды природопользования. Различают три вида природопользования: отраслевое, ресурсное и территориальное.

Отраслевое природопользование — использование природных ресурсов в пределах отдельной отрасли хозяйства.

Ресурсное природопользование — использование какого-либо отдельно взятого ресурса.

Территориальное природопользование — использование природных ресурсов в пределах какой-либо территории.

Мотивы рационального природопользования и охраны природы

В основе рационального природопользования и охраны природы лежат разные мотивы (аспекты): экономический, здравоохранительный, эстетический, научно-познавательный, воспитательный и др.

Экономический мотив — важнейший мотив как в прошлом, так и в настоящее время, ибо вся хозяйственная деятельность человека и само его существование основаны на использовании природных ресурсов.

Здравоохранительный мотив возник относительно недавно в связи с усиливающимся загрязнением окружающей среды, результатом которого являются многочисленные заболевания и снижение продолжительности жизни населения.

Эстетический мотив подразумевает поддержание хотя бы отдельных природных комплексов в состоянии, способном удовлетворять эстетические потребности человека, которые не менее важны, чем все остальные.

Научно-познавательный мотив имеет в виду сохранение биологического разнообразия организмов, неизменных участков природы, ее отдельных произведений и т.д. с целью ее научного познания.

Воспитательный мотив подразумевает необходимость охраны природы для формирования духовных потребностей человека.

Конечная цель рационального природопользования и охраны природы — обеспечение благоприятных условий для жизни человека, развития хозяйства, науки, культуры и т.д., для удовлетворения материальных и культурных потребностей всего человеческого общества.

Правила (принципы) рационального природопользования и охраны природы

В процессе взаимодействия с природой человеческое общество выработало ряд принципов (правил), направленных на рационализацию природопользования, позволяющих предотвратить или смягчить негативные последствия воздействия на природу.

Рациональное природопользование и охрана природы должны основываться на следующих правилах (принципах):

Правило прогнозирования: использование и охрана природных ресурсов должны осуществляться на основе предвидения и максимально возможного предотвращения негативных последствий природопользования.

Правило повышения интенсивности освоения природных ресурсов: использование природных ресурсов должно производиться на основе повышения интенсивности освоения природных ресурсов, в частности с уменьшением или устранением потерь полезных ископаемых при их добыче, транспортировке, обогащении и переработке.

Правило множественного значения объектов и явлений природы: использование и охрана природных ресурсов должны осуществляться с учетом интересов разных отраслей хозяйства.

Правило комплексности: использование природных ресурсов должно реализовываться комплексно, разными отраслями народного хозяйства.

Правило региональности: использование и охрана природных ресурсов должны осуществляться с учетом местных условий.

Правило косвенного использования и охраны: использование или охрана одного объекта природы может приводить к косвенной охране другого, а может приносить ему вред.

Правило единства использования и охраны природы: охрана природы должна осуществляться в процессе ее использования. Охрана природы не должна быть самоцелью.

Правило приоритета охраны природы над ее использованием: при использовании природных ресурсов должен соблюдаться приоритет экологической безопасности над экономической выгодностью.

Лекция 2.

Природа как материальная основа природопользования.

Природная среда, природно-ресурсный потенциал.

Природная (окружающая, географическая) среда – естественная среда обитания и деятельности человека и других живых организмов. Природная среда включает литосферу, гидросферу, атмосферу, биосферу и околоземное космическое пространство. Внутри природной среды выделяют природные ресурсы и природные условия.

Природные ресурсы — элементы природы (объекты и явления), необходимые человеку для его жизнеобеспечения и вовлекаемые им в материальное производство (атмосферный воздух, вода, почва, солнечная радиация, полезные ископаемые, климат, растительность, животный мир и т.д.).

Природные условия — элементы природы (объекты и явления), влияющие на жизнь и деятельность человека, но не вовлеченные в материальное производство (некоторые газы атмосферы, виды животных и растений и др.). По мере развития науки и техники природные условия становятся природными ресурсами.

Природно-ресурсный потенциал — часть природных ресурсов, которая может быть вовлечена в хозяйственную деятельность при данных технических и социально-экономических возможностях общества с условием сохранения среды жизни человечества. В более узком экономическом понимании — доступная при данных технологиях и социально-экономических отношениях совокупность природных ресурсов.

Природные ресурсы и природные условия еще называются *природными факторами* жизни общества (в отличие от *социальных факторов*).

Природные ресурсы используются человеком в разном качестве:

- 1) Как непосредственные предметы потребления (питьевая вода, кислород воздуха, употребляемые в пищу растения и животные и др.);
- 2) как средства труда, с помощью которых осуществляется общественное производство (земля, водные ресурсы и др.);

- 3) как предметы труда, из которых производятся все изделия (минералы, древесина и др.);
- 4) как источники энергии (горючие ископаемые, гидроэнергия, энергия ветра и др.).

Вся жизнь и деятельность человека, территориальное расселение и размещение производственных сил зависят от количества, качества и местоположения природных ресурсов. В связи с этим жизненно важным для человечества является вопрос о запасах природных ресурсов. К настоящему времени все попытки прогнозов момента исчерпания того или иного ресурса оканчивались в большинстве случаев неудачей. Неопределенность подобных расчетов имеет следующие причины:

- 1) постоянно идет разведка и открытие новых месторождений полезных ископаемых;
 - 2) совершенствуется технология добычи и переработки природных ресурсов, благодаря чему замедляются темпы роста их потребления по сравнению с темпами роста процесса производства продукции;
- вовлекаются в производство ранее не использовавшиеся природные ресурсы, ранее природные условия (например, нефть и алюминий применяются около 200 лет, ядерное топливо — около 50 лет и т.д.).

Классификация природных ресурсов

- *По источникам и местоположению:* энергетические ресурсы, атмосферные газовые ресурсы, водные ресурсы, ресурсы литосферы, ресурсы растений-продуцентов, ресурсы консументов, ресурсы редуцентов, климатические ресурсы и др. (приложение 1).

- *По сфере их использования:* производственные (сельскохозяйственные и промышленные), здравоохранительные (или рекреационные), эстетические, научные и др.

- *По принципу используемости человеком в настоящее время* (иначе говоря, по техническим возможностям эксплуатации): **реальные** природные ресурсы используются в настоящее время человеком в производственной деятельности; **потенциальные** природные ресурсы в настоящее время не используются человеком вообще либо используются в недостаточной степени (энергия Солнца, морских приливов, ветра и др.).

- *По принципу заменимости:* **заменяемые** природные ресурсы можно заменить другими сейчас или в обозримом будущем (все полезные ископаемые, энергоресурсы); **незаменяемые** природные ресурсы нельзя заменить другими природными ресурсами (атмосферный воздух, вода, генетический фонд живых организмов).

- *По принципу исчерпаемости и возобновимости:* **Исчерпаемые природные ресурсы** — ресурсы, количество которых ограничено и абсолютно, и относительно. Исчерпаемые ресурсы подразделяют на невозобновимые и возобновимые.

Не возобновимые природные ресурсы абсолютно не восстанавливаются (каменный уголь, нефть и большинство других полезных ископаемых) или восстанавливаются значительно медленнее, чем идет их использование (торфяники, многие осадочные породы). Использование этих ресурсов неминуемо ведет к их истощению. Охрана невозобновимых природных ресурсов сводится к рациональному, экономному использованию, борьбе с потерями при добычании, перевозке, обработке и применении, поиску заменителей.

Возобновимые природные ресурсы по мере использования постоянно восстанавливаются (животный мир, растительность, почва). Однако для сохранения их способности к восстановлению необходимы определенные условия, нарушение которых замедляет или вовсе прекращает процесс восстановления. Процессы восстановления протекают с разной скоростью для разных ресурсов: для восстановления животных требуется несколько лет, леса — 60—80 лет, почвы — несколько тысячелетий. Охрана

возобновимых природных ресурсов должна осуществляться путем рационального их использования и расширенного воспроизводства. Темпы расходования возобновимых природных ресурсов должны соответствовать темпам их восстановления.

Неисчерпаемые природные ресурсы — ресурсы, количество которых не ограничено, но не абсолютно, а относительно наших потребностей и сроков существования. Неисчерпаемые природные ресурсы включают ресурсы *водные* (воды Мирового океана, пресные воды), *климатические* (атмосферный воздух, энергия ветра) и *космические* (солнечная радиация, энергия морских приливов). Однако если количество неисчерпаемых природных ресурсов относительно не ограничено, то их качество может ограничить возможность их использования человеком (например, количество воды не ограничено, но ограничено количество питьевой воды).

• *По направлению их использования в деятельности человека:*

A_1 — непосредственные источники существования людей, их воспроизводства: A_x — жизненно необходимые (воздух, вода, земля и др.); A_2 — рекреационные, оздоровительные, эстетические.

B — источники средств материального производства, важнейшие факторы его развития: B_x — ресурсы, непосредственно потребляемые материальным производством (сырье, энергия, материалы); B_2 — ресурсы, используемые, но не изымаемые из природной среды (например, вода для речного и морского транспорта).

C — ресурсы, непосредственно человеком и в его материальном производстве не используемые, но составляющие необходимое звено в круговороте вещества и энергии в природе (например, планктон океанов, деструкторы в почве). Также их можно назвать природными условиями.

• *По критерию собственности:* частные, государственные и общественные, а также собственные и арендуемые.

Контрольные вопросы

1. В чем разница между природными ресурсами и природными условиями? Приведите примеры.

2. В чем причины неопределенности прогнозов момента исчерпания того или иного природного ресурса?

3. Как классифицируют природные ресурсы по источникам и местоположению? Приведите примеры.

4. Как классифицируют природные ресурсы по сфере их использования? Приведите примеры.

5. Как классифицируют природные ресурсы по принципу используемости человеком в настоящее время? Приведите примеры.

6. Как классифицируют природные ресурсы по принципу заменимости? Приведите примеры.

7. Как классифицируют природные ресурсы по принципу исчерпаемости и возобновимости? Приведите примеры.

8. Как классифицируют природные ресурсы по направлению их использования в деятельности человека? Приведите примеры.

Лекция 4

Взаимодействие общества и природы

Взаимоотношения общества и природы — воздействие человеческого общества (антропогенных факторов) на природу и природы (природных факторов) на здоровье и хозяйственную деятельность человека.

Виды воздействия человека на природу

Антропогенные воздействия — деятельность человека, связанная с реализацией экономических, военных, рекреационных, культурных и других его интересов, вносящая физические, химические, биологические и другие изменения в природную среду.

Разрушительное (деструктивное) воздействие — человеческая деятельность, ведущая к утрате природной средой своих полезных человеку качеств. Например, сведение дождевых лесов под пастбища или плантации, в результате чего нарушается биогеохимический круговорот веществ, и почва за два-три года теряет свое плодородие.

Стабилизирующее воздействие — человеческая деятельность, направленная на замедление деструкции (разрушения) природной среды в результате как хозяйственной деятельности человека, так и природных процессов. Например, почвозащитные мероприятия, направленные на уменьшение эрозии почв.

Конструктивное воздействие — человеческая деятельность, направленная на восстановление природной среды, нарушенной в результате хозяйственной деятельности человека или природных процессов. Например, рекультивация ландшафтов, восстановление численности редких видов животных и растений и т.д. Разрушительное воздействие можно назвать отрицательным (негативным), а стабилизирующее и конструктивное — положительным (позитивным).

Косвенное (опосредованное) воздействие — изменение природы в результате цепных реакций или вторичных явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека

Непреднамеренное воздействие является неосознанным, когда человек не предполагает последствий своей деятельности.

Преднамеренное воздействие является осознанным, когда человек ожидает определенные результаты своей деятельности.

Расширяющееся использование природных ресурсов вследствие *роста населения* и развития *научно-технического прогресса* приводит к их истощению и увеличению загрязнения природной среды отходами производства и отбросами потребления. То есть ухудшение природной среды происходит по двум причинам: 1) *сокращение природных ресурсов*; 2) *загрязнение природной среды*.

Степень воздействия человека на природу

Глубина экологических последствий воздействия человека на природу зависит от нескольких переменных: численности населения, стиля жизни и экологического сознания. Эту связь можно описать формулой:

Экологич. последствия = (числен. населения*стиль жизни)/ уровень экологич. сознания.

Экологический кризис. Экологическая катастрофа.

Несбалансированные взаимоотношения общества и природы, то есть нерациональное природопользование, часто приводят к экологическому кризису и даже экологической катастрофе.

Экологический кризис (чрезвычайная экологическая ситуация) — экологическое неблагополучие, характеризующееся устойчивыми отрицательными изменениями окружающей среды и представляющее угрозу для здоровья людей. Это напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и природой, обусловленное несоответствием размеров производственно-хозяйственной деятельности человека ресурсно-экологическим возможностям биосферы. Экологический кризис характеризуется не столько усилением воздействия человека на природу, сколько резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие.

Экологическая катастрофа (экологическое бедствие) — экологическое неблагополучие, характеризующееся глубокими необратимыми изменениями окружающей среды и существенным ухудшением здоровья населения. Это природная аномалия, нередко возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности на природные процессы и ведущая к остро неблагоприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона.

Экологический кризис и экологическая катастрофа в зависимости от масштаба могут быть локальными, региональными и глобальными.

Загрязнение окружающей среды

Загрязнение — привнесение в окружающую среду или возникновение в ней новых (обычно не характерных для нее) вредных химических, физических, биологических, информационных агентов.

Загрязнение может возникать в результате естественных причин (*природное загрязнение*: пыльные бури, вулканический пепел и др.) или под влиянием деятельности человека (*антропогенное загрязнение*: выбросы в атмосферу и сбросы в гидросферу вредных веществ и др.).

По видам загрязняющих агентов загрязнение окружающей среды делят на *физическое* (тепловое, радиоактивное, шумовое, электромагнитное, световое и др.), *химическое* (тяжелые металлы, пестициды, синтетические поверхностно активные вещества — СПАВ, пластмассы, аэрозоли, детергенты и др.) и *биологическое* (патогенные микроорганизмы, продукты генной инженерии и др.). Помимо влияния на круговорот веществ, человек оказывает воздействие на энергетические процессы в биосфере. Наиболее опасным здесь является тепловое загрязнение биосферы, связанное с использованием ядерной и термоядерной энергии. Кроме вещественного и энергетического загрязнения, начинает подниматься вопрос об информационном загрязнении окружающей человека среды.

По масштабам загрязнение может быть *глобальным, региональным и локальным (местным)*.

По объектам загрязнения различают *загрязнение атмосферного воздуха, загрязнение поверхностных и подземных вод, загрязнение почв* и т.д., и даже *загрязнение околоземного космического пространства*.

Одна из классификаций загрязнений, основанная на системном подходе, сделана Г.В. Стадницким и А.И. Родионовым (1988). Авторы под загрязнением понимают любые нежелательные для экосистем антропогенные изменения и делят его на ингредиентное, параметрическое, биоценоотическое и стационально-деструкционное.

Ингредиентное загрязнение — совокупность веществ, количественно или качественно чуждых естественным биогеоценозам (бытовые стоки, ядохимикаты и удобрения, продукты сгорания и т.д.).

Параметрическое загрязнение — изменение качественных параметров окружающей природной среды (шумовое, тепловое, световое, радиационное, электромагнитное).

Биоценоотическое загрязнение — воздействия, вызывающие нарушение в составе и структуре популяций живых организмов (перепромысел, направленная интродукция и акклиматизация видов и т.д.).

Стационально-деструкционное загрязнение (от слов *станция* — место обитания популяции, *деструкция* — разрушение) — воздействие, приводящее к нарушению и преобразованию ландшафтов и экосистем в процессе природопользования (вырубка лесов, эрозия почв, зарегулирование водотоков, урбанизация и пр.).

Малоотходные и безотходные технологии

Природные круговороты веществ являются практически замкнутыми. Достижение полной безотходности нереально, поскольку противоречит второму началу термодинамики. Создать абсолютно замкнутый круговорот веществ теоретически возможно, но все равно будут потери энергии в виде тепла. Поэтому термин «безотходная технология» условен, и правильнее использовать термин «малоотходная технология».

Малоотходная технология — такой способ производства, который обеспечивает максимально эффективное использование сырья и энергии, с минимумом отходов и потерь энергии.

Важным условием малоотходной технологии является *рециркуляция* — повторное использование материальных ресурсов, позволяющее экономить сырье и энергию и уменьшить образование отходов.

В комплекс мероприятий по сокращению до минимума количества вредных отходов и уменьшения их воздействия на окружающую природную среду входят:

- разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;
- разработка бессточных технологических систем и водооборотных циклов на основе очистки сточных вод;
- создание и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного ее использования;
- создание принципиально новых производственных процессов, позволяющих исключить или сократить технологические стадии, на которых происходит образование отходов.

Биотехнология — методы и приемы получения полезных для человека продуктов, явлений и эффектов с помощью живых организмов (в первую очередь микроорганизмов). Например, достижения биотехнологии позволяют разрабатывать и создавать микробные препараты для регуляции круговорота веществ в экосистемах, что позволяет решать ряд прикладных задач:

- биологическая очистка природных и сточных вод от органических и неорганических загрязняющих веществ
- утилизация твердой фазы сточных вод и твердых бытовых отходов путем их сбраживания;
- микробное восстановление почв, загрязненных в первую очередь органическими веществами;
- использование микроорганизмов для нейтрализации тяжелых металлов в осадках сточных вод и загрязненных почвах;
- компостирование (биологическое окисление) отходов растительности (опад листьев, соломы и др.);
- создание биологически активного сорбирующего материала для очистки загрязненного воздуха.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют воздействие человека на окружающую природную среду?
2. От чего зависит степень воздействия человека на окружающую природную среду?
3. В чем принципиальная разница между экологическим кризисом и экологической катастрофой?
4. Как классифицируют загрязнение окружающей природной среды?
5. Что означают понятия малоотходная и безотходная технология? Какое из понятий является некорректным?
6. Что такое биотехнология? Какие задачи в области охраны природы можно решить методами биотехнологии?

Лекция 5

Антропогенные воздействия на атмосферу и ее защита

Загрязнение атмосферного воздуха

Антропогенное воздействие на атмосферу проявляется прежде всего в загрязнении атмосферного воздуха.

Атмосферный воздух — естественная смесь газов атмосферы, находящаяся за пределами жилых, производственных и иных помещений (Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»).

Загрязнение атмосферного воздуха — привнесение в него или возникновение в нем новых (обычно не характерных для него) вредных химических, физических, биологических агентов. Оно может быть естественным (природным) и антропогенным (техногенным).

Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами (вулканическая деятельность, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров и др.). Антропогенное загрязнение связано с выбросом загрязняющих веществ в результате деятельности человека.

По масштабам загрязнение воздуха может быть **местным** — повышение содержания загрязняющих веществ на небольших территориях (город, район и др.), **региональным** — загрязнение атмосферного воздуха значительных территорий (областей, регионов и др.), **глобальным** — изменения, затрагивающие всю атмосферу Земли.

По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются следующим образом: 1) газообразные (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды и др.); 2) жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей и др.); 3) твердые (тяжелые металлы, канцерогенные вещества, органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и др.).

Главные (приоритетные) антропогенные загрязнители (поллютанты) атмосферного воздуха — диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), оксид углерода (CO), твердые частицы (пыль, сажа, зола). На их долю приходится около 98% выбросов вредных веществ в атмосферу. Кроме них в атмосферу поступает еще более 70 наименований вредных веществ: тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий и др.); углеводороды (C_nH_m), среди которых наиболее опасен бензопирен, альдегиды (в первую очередь формальдегид), сероводород, токсичные летучие растворители (бензины, спирты, эфиры) и др.

Особо опасным видом загрязнения атмосферы является радиоактивное загрязнение, вызванное радиоактивными изотопами. Его источники — производство и испытания ядерного оружия, отходы и аварийные выбросы АЭС. Особое место занимают выбросы радиоактивных веществ в результате аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС в 1986 г. Их суммарный выброс в атмосферу составил 77 кг. Для сравнения при атомном взрыве над Хиросимой их образовалось только 740 г.

Источники загрязнения атмосферного воздуха

Основными антропогенными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются следующие отрасли экономики: теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и др.), автотранспорт, черная и цветная металлургия, нефтедобывающее и нефтеперерабатывающее производство, машиностроение, производство стройматериалов и т.д.

Энергетика. При сжигании твердого топлива (каменного угля) в атмосферный воздух поступают оксиды серы, оксиды азота, твердые частицы (пыль, сажа, зола). Так, современная теплоэлектростанция мощностью 2,4 млн кВт расходует до 20 тыс. т угля в сутки и выбрасывает в атмосферу в сутки 680 т SO_2 и SO_3 ; 120-140 т твердых частиц (зола, пыль, сажа); 200 т оксидов азота. Использование жидкого топлива (мазута) снижает выбросы золы, но практически не уменьшает выбросы оксидов серы и азота. Газовое топливо загрязняет атмосферный воздух в 3 раза меньше, чем мазут, и в 5 раз меньше, чем уголь.

Атомная энергетика в случае безаварийной работы еще более экологична, но и она загрязняет воздух такими токсичными веществами, как радиоактивный йод, радиоактивные инертные газы и аэрозоли. В то же время АЭС представляет собой значительно большую потенциальную опасность по сравнению с предприятиями традиционной энергетики. Опасность несут аварии атомного реактора и отходы ядерного топлива.

Черная и цветная металлургия. При выплавке одной тонны стали в атмосферу выбрасывается 0,04 т твердых частиц, 0,03 т оксида серы, 0,05 т оксида углерода, а также в меньших количествах свинец, фосфор, марганец, мышьяк, пары ртути, фенол, формальдегид, бензол, аммиак и другие токсичные вещества. В выбросах предприятий цветной металлургии, кроме того, содержатся тяжелые металлы, такие как свинец, цинк, медь, алюминий, ртуть, кадмий, молибден, никель, хром и др.

Химическая промышленность. Выбросы химической промышленности характеризуются значительным разнообразием, высокой концентрированностью и токсичностью. Они содержат оксиды серы, соединения фтора, аммиак, нитрозные газы (смесь оксидов азота), хлористые соединения, сероводород, неорганическую пыль и т.д.

Автотранспорт. В настоящее время в мире эксплуатируется несколько сот миллионов автомобилей. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания содержат огромное количество токсичных соединений: бензопирена, альдегидов, оксидов азота и углерода и особо опасных соединений свинца (из этилированного бензина). В настоящее время в крупных городах России выбросы от автотранспорта превосходят выбросы от стационарных источников (предприятий промышленности).

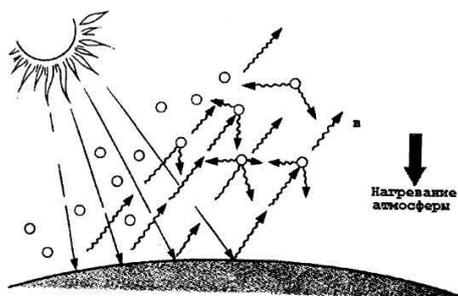
Сельское хозяйство. Сельскохозяйственное производство приводит к загрязнению атмосферного воздуха пылью (при механической обработке почв), метаном (домашние животные), сероводородом и аммиаком (промышленные комплексы по производству мяса), пестицидами (при их распылении) и т.д.

Интенсивное загрязнение атмосферного воздуха отмечается также при добыче и переработке минерального сырья, на нефте- и газоперерабатывающих заводах, при выбросе пыли и газов из подземных горных выработок, при сжигании мусора и горении пород в отвалах и т.д.

Экологические последствия загрязнения атмосферы

Воздействие загрязнения воздуха на организм человека.

Физиологическое воздействие на человеческий организм загрязнителей атмосферного воздуха различно. Оксид углерода (угарного газа) прочно соединяется с гемоглобином крови, что препятствует нормальному снабжению органов и тканей кислородом, в



результате ослабляются процессы мыслительной деятельности, замедляются рефлексy, возникает сонливость, возможны потери сознания и смерть от удушья. Диоксид кремния (SiO_2), содержащийся в пыли, вызывает тяжелое заболевание легких — силикоз. Диоксид серы, соединяясь с влагой, образует серную кислоту, которая разрушает легочную ткань. Оксиды азота раздражают и разъедают слизистые оболочки глаз и легких, увеличивают восприимчивость к инфекционным заболеваниям, вызывают бронхит и пневмонию. Если в воздухе содержатся совместно оксиды азота и диоксид серы, то возникает эффект синергизма, т.е. усиление токсичности всей газообразной смеси. Частицы размером менее 5 мкм способны проникать в лимфатические узлы, задерживаться в альвеолах легких, засорять слизистые оболочки.

Незначительные по объему выбросы такие, как бенз(а)-пирен, соединения свинца, кадмия, ртути, мышьяка, кобальта, фосфора и др., могут оказывать воздействие, растянутое во времени. Они обладают канцерогенным действием, вызывают дефекты у новорожденных, снижают иммунитет, угнетают кроветворную и нервную системы и т.д.

Парниковый эффект и глобальное потепление климата. *Парниковый (тепличный, оранжерейный) эффект* — разогрев нижних слоев атмосферы, вследствие способности атмосферы пропускать коротковолновую солнечную радиацию, но задерживать длинноволновое тепловое излучение земной поверхности (рис. 25). Водяной

пар задерживает около 60% теплового излучения Земли и углекислый газ — до 18%. В отсутствие атмосферы средняя температура земной поверхности была бы $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в действительности она составляет $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Парниковому эффекту способствует поступление в атмосферу антропогенных примесей (диоксида углерода, метана, фреонов, оксида азота и др.). За последние 50 лет содержание углекислого газа в атмосфере возросло с 0,027 до 0,036%. Это привело к повышению среднегодовой температуры на планете на $0,6^{\circ}$. Существуют модели, согласно которым если температура приземного слоя атмосферы поднимется еще на $0,6-0,7^{\circ}$, произойдет интенсивное таяние ледников Антарктиды и Гренландии, что приведет к повышению уровня воды в океанах и затоплению до 5 млн км² низменных, наиболее густо заселенных равнин.

Отрицательные для человечества последствия парникового эффекта заключаются в повышении уровня Мирового океана в результате таяния материковых и морских льдов, теплового расширения океана и т.п. Это приведет к затоплению приморских равнин, усилению абразионных процессов, ухудшению водоснабжения приморских городов, деградации мангровой растительности и т.п. Увеличение сезонного протаивания грунтов в районах с вечной мерзлотой создаст угрозу дорогам, строениям, коммуникациям, активизирует процессы заболачивания, термокарста и т.д.

Положительные для человечества последствия парникового эффекта связаны с улучшением состояния лесных экосистем и сельского хозяйства. Повышение температуры приведет к увеличению испарения с поверхности океана, это вызовет возрастание влажности климата, что особенно важно для аридных (сухих) зон. Повышение концентрации углекислого газа увеличит интенсивность фотосинтеза, а значит, продуктивность диких и культурных растений.

Контрольные вопросы

1. Что называют атмосферным воздухом?
2. В чем состоят основные антропогенные воздействия на атмосферу?
3. Что называют загрязнением воздуха?
4. Чем вызвано естественное и антропогенное загрязнение атмосферного воздуха?
5. Классифицируйте выбросы вредных веществ в атмосферу по агрегатному состоянию.
6. Назовите главные антропогенные вещества, загрязняющие атмосферный воздух.
7. Охарактеризуйте основные антропогенные источники (отрасли экономики) загрязнения атмосферного воздуха.
8. Как загрязнение атмосферного воздуха воздействует на организм человека?
9. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения развития парникового эффекта.

Лекция 6

Экологические последствия загрязнения атмосферы

Воздействие загрязнения воздуха на организм человека (продолжение)

Разрушение «озонового слоя». *Озоновый слой (озоносфера)* — слой атмосферы с наибольшей концентрацией озона (O_3) на высоте 20-25 (22-24) км. Содержащееся в озоновом слое количество озона невелико: в приземных условиях атмосферы (при давлении 760 мм и температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$) он образовал бы слой толщиной всего 3 мм. В атмосфере озон образуется из кислорода под действием ультрафиолетового излучения (рис. 26).

«*Озоновая дыра*» — значительное пространство в озоносфере планеты с заметно пониженным (до 50% и более) содержанием озона. Считается, что основной причиной возникновения «озоновых дыр» является значительное содержание в атмосфере фреонов. *Фреоны (хлорфторуглероды)* — высоколетучие, химически инертные у земной

поверхности вещества, широко применяемые в производстве и быту в качестве хладагентов (холодильники, кондиционеры, рефрижераторы), пенообразователей и распылителей (аэрозольные упаковки). Фреоны, поднимаясь в верхние слои атмосферы, подвергаются фотохимическому разложению с образованием окиси хлора, интенсивно разрушающей озон.

Истощение озонового слоя в атмосфере Земли приводит к увеличению потока ультрафиолетовых лучей на земную поверхность. Ультрафиолетовые лучи в небольших дозах необходимы живым организмам (стимуляция роста и развития клеток, бактерицидное действие, синтез витамина D и т.д.), в больших дозах губительны из-за способности вызывать раковые заболевания и мутации.

Кислотные дожди. *Кислотный дождь* — дождь или снег, подкисленный до $pH < 5,6$ из-за растворения в атмосферной влаге антропогенных выбросов (оксиды серы, оксиды азота, хлороводород, сероводород и др.).

Отрицательное воздействие кислотных дождей на растительность проявляется как в прямом биоцидном воздействии на растительность, так и в косвенном через снижение pH почв. Выпадение кислотных дождей приводит к ухудшению состояния и гибели целых лесных массивов, а также снижению урожайности многих сельскохозяйственных культур. Кроме того, отрицательное воздействие кислотных дождей проявляется в закислении пресноводных водоемов. Снижение pH воды вызывает сокращение запасов промышленной рыбы, деградацию многих видов организмов и всей водной экосистемы, а иногда и полную биологическую гибель водоема. Негативные последствия кислотных дождей зафиксированы в Канаде, США, Европе, России, Украине, Белоруссии и других странах.

Смог. *Смог* — ядовитая смесь дыма, тумана и пыли. Различают два типа смога: лондонский и лос-анджелесский.

Лондонский (зимний) смог образуется зимой в крупных промышленных центрах при неблагоприятных погодных условиях: отсутствии ветра и температурной инверсии. Температурная инверсия проявляется в повышении температуры воздуха с высотой (в слое 300-400 м) вместо обычного понижения. В результате дым и загрязняющие вещества (пыль, оксиды серы и углерода) не могут подняться вверх и рассеяться, а образуют туманную завесу.

Лос-анджелесский (летний, фотохимический) смог возникает летом также при отсутствии ветра и температурной инверсии, но обязательно в солнечную погоду. Он образуется при воздействии солнечной радиации на оксиды азота и углеводороды, поступающие в воздух в составе выхлопных газов автомобилей и выбросов предприятий. В результате образуются высокотоксичные загрязнители — *фотооксиданты*, состоящие из озона, органических пероксидов, пероксида водорода, альдегидов и т.д.

Смог вызывает обострение респираторных заболеваний, раздражение глаз, ухудшение физического состояния и т.д. вплоть до летального исхода. В 1952 г. в Лондоне от смога за две недели погибло более 4000 человек.

Рассеять смог может только ветер, а бороться с ним можно путем сокращения выбросов загрязнителей в атмосферу.

Защита атмосферы

В целях защиты атмосферы от загрязнения применяют следующие экозащитные мероприятия:

- экологизация технологических процессов;
- очистка газовых выбросов от вредных примесей;
- рассеивание газовых выбросов в атмосфере;
- соблюдение нормативов допустимых выбросов вредных веществ;
- устройство санитарно-защитных зон, архитектурно-планировочные решения и др.

Экологизация технологических процессов — это в первую очередь создание замкнутых технологических циклов, безотходных и малоотходных технологий,

исключающих попадание в атмосферу вредных загрязняющих веществ. Кроме того, необходима предварительная очистка топлива или замена его более экологичными видами, применение гидрообеспыливания, рециркуляция газов, перевод различных агрегатов на электроэнергию и др.

Очистка газовых выбросов от вредных примесей. Нынешний уровень технологий не позволяет добиться полного предотвращения поступления вредных примесей в атмосферу с газовыми выбросами. Поэтому повсеместно используются различные методы очистки отходящих газов от аэрозолей (пыли) и токсичных газо- и парообразных примесей (NO, NO₂, SO₂, SO₃ и др.).

Для очистки выбросов от аэрозолей применяют различные типы устройств в зависимости от степени запыленности воздуха, размеров твердых частиц и требуемого уровня очистки: *сухие пылеуловители* (циклоны, пылесадительные камеры), *мокрые пылеуловители* (скрубберы и др.), *фильтры, электрофильтры: каталитические, абсорбционные, адсорбционные* и другие методы для очистки газов от токсичных газо- и парообразных примесей.

Рассеивание газовых примесей в атмосфере — это снижение их опасных концентраций до уровня соответствующего ПДК путем рассеивания пылегазовых выбросов с помощью высоких дымовых труб. Чем выше труба, тем больше ее рассеивающий эффект. К сожалению, этот метод позволяет снизить локальное загрязнение, но при этом проявляется региональное.

Устройство санитарно-защитных зон и архитектурно-планировочные мероприятия.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) — это полоса, отделяющая источники промышленного загрязнения от жилых или общественных зданий для защиты населения от влияния вредных факторов производства. Ширина этих зон составляет от 50 до 1000 м в зависимости от класса производства, степени вредности и количества выделяемых в атмосферу веществ. Ширина этих зон составляет от 50 до 1000 м в зависимости от класса производства, степени вредности и количества выделяемых в атмосферу веществ.

Архитектурно-планировочные мероприятия включают правильное взаимное размещение источников выброса и населенных мест с учетом направления ветров, выбор под застройку промышленного предприятия ровного возвышенного места, хорошо продуваемого ветрами и т.д.

Антропогенные воздействия на гидросферу и ее защита

Загрязнение гидросферы

Загрязнение вод — привнесение или возникновение в них новых (обычно не характерных для них) вредных химических, физических, биологических агентов. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств (нарушение 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, засоление пресных вод солеными и т.д. *Антропогенное загрязнение* связано с поступлением загрязняющих веществ в гидросферу в результате деятельности человека.

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

Химическое загрязнение — загрязнение вод неорганическими и органическими веществами. Из органических загрязнителей наиболее распространены нефть и нефтепро-

дукты, СПАВ, фенолы, пестициды и др., из неорганических — кислоты, щелочи, тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, мышьяк и др.).

Химическое загрязнение наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся 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 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 водами или в результате взаимодействия подземных вод с радиоактивными горными породами.

Механическое загрязнение — загрязнение вод механическими примесями — твердыми частицами (песок, ил, шлам и др.). Свойственно в основном поверхностным водам. 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.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят основные антропогенные воздействия на гидросферу?
2. Что называют загрязнением вод?
3. Чем вызвано естественное и антропогенное загрязнение вод?
4. Охарактеризуйте основные виды загрязнения вод.

Лекция 7

Источники загрязнения гидросферы

Основными антропогенными источниками загрязнения поверхностных вод являются: сбросы в водоемы неочищенных сточных вод; смыв пестицидов, минеральных и органических удобрений; газодымовые выбросы; утечки нефти и нефтепродуктов.

Сбросы в водоемы неочищенных сточных вод оказывают наибольшее воздействие на гидросферу. Сточные воды классифицируются на промышленные, коммунально-бытовые, коллекторно-дренажные и др. Промышленные сточные воды в зависимости от специфики отраслей промышленности содержат нефтепродукты, фенолы, СПАВ, сульфаты, фториды, цианиды, тяжелые металлы и т.д.

Смыв пестицидов, минеральных и органических удобрений. При неправильном хранении и внесении в почву пестицидов, минеральных и органических удобрений возможен смыв их ливневыми водами в водоемы и водотоки. Поступление в водоемы пестицидов ведет к болезням и гибели гид-робионтов. Загрязнение вод биогенными элементами и органическими веществами приводит к эвтрофикации, цветению вод, «красным приливам».

Газо-дымовые выбросы попадают в водные объекты в процессе механического оседания или с осадками. Они содержат твердые частицы, оксиды серы и азота, тяжелые металлы, углеводороды, альдегиды и др. Оксиды серы, оксиды азота, сероводород, хлороводород, взаимодействуя с атмосферной влагой, образуют кислоты и выпадают в виде кислотных дождей, закисляя водоемы.

Утечки нефти и нефтепродуктов. Миллионы тонн нефти ежегодно загрязняют морские и пресноводные экосистемы при авариях нефтеналивных судов, на нефтепромыслах в прибрежных зонах, при сбросе с судов балластных вод и т.д.

В подземные воды загрязняющие вещества могут проникать различными путями: при просачивании промышленных и коммунально-бытовых стоков из хранилищ, прудов-накопителей, отстойников и др., по затрубному пространству неисправных скважин, через поглощающие скважины, карстовые воронки и т.д.

Экологические последствия загрязнения гидросферы

Пресноводные экосистемы. Загрязнение пресноводных экосистем приводит к подавлению жизнедеятельности, плодовитости и гибели гидробионтов, нарушению пищевых связей, снижению устойчивости экосистем, эвтрофикации и т.д. Эвтрофикация (эвтрофирование) вод — повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления биогенных элементов (азота, фосфора, калия и др.) под воздействием естественных и антропогенных факторов. Негативным последствием эвтрофикации является ухудшение физико-химических условий среды обитания рыб и других гидробионтов за счет массового развития фитопланктона, снижения содержания кислорода в воде, разложения отмерших организмов и токсичности продуктов их распада.

Эвтрофикация может быть вызвана антропогенными и естественными причинами. Антропогенная эвтрофикация связана с поступлением в водоемы значительного количества биогенных веществ — азота, фосфора и других элементов в виде удобрений, моющих веществ, отходов животноводства, атмосферных аэрозолей и т.д. Сроки протекания естественной эвтрофикации — столетия и тысячелетия, антропогенной — до нескольких десятилетий.

Процессам антропогенной эвтрофикации подвержены многие крупные озера (Великие Американские озера, Балатон, Ладожское, Женевское и др.), водохранилища, речные экосистемы, в первую очередь малые реки. На этих реках, помимо катастрофически быстро растущей биомассы сине-зеленых водорослей, с берегов происходит зарастание их высшей растительностью.

На пресноводные экосистемы, помимо избытка биогенных веществ, негативное воздействие оказывают и другие вещества: тяжелые металлы (свинец, кадмий, никель и др.), фенолы, СПАВ и др. Так, например, загрязнение этими компонентами Байкала привело к обеднению гидробионтов, уменьшению биомассы зоопланктона, гибели значительной части численности популяции байкальской нерпы и др.

Морские экосистемы. Ежегодно в океан сбрасывается до 300 млрд м³ сточных вод, 90% которых не подвергается предварительной очистке. Многие токсичные элементы и соединения (тяжелые металлы, пестициды, бензопирен и др.) аккумулируются в живых организмах с течением времени и по мере продвижения по цепям питания, в результате делая непригодными для промысла рыбу, птиц, морских млекопитающих.

Для прибрежных зон океана характерно усиление таких процессов, как эвтрофикация, цветение вод, «красные приливы», микробиологическое загрязнение. Цветение вод — массовое развитие фитопланктона, вызывающее изменение окраски воды от зеленой и желто-бурой до красной. Оно обусловлено значительным поступлением в водоемы биогенных элементов (азота, фосфора, калия и др.). «Красные приливы» — массовое развитие пиропитовых водорослей, связанное с чрезмерным сбросом в океан органических веществ. Они неоднократно наблюдались у берегов Флориды, Индии, Австралии, Японии, Черного моря и т.д.

Экологические последствия истощения вод

Истощение вод — недопустимое сокращение их запасов в пределах определенной территории (для подземных вод) или уменьшение минимально допустимого стока (для поверхностных вод).

Истощение подземных вод возникает в результате интенсивной добычи подземных вод в районах водозаборов, а также значительного водоотлива при строительстве шахт и карьеров. Это нарушает естественно сложившуюся взаимосвязь поверхностных и подземных вод. Истощение подземных вод приводит к ухудшению речного стока, иссушению родников, ручьев и небольших рек, снижению уровня подземных вод, иссушению и опустыниванию территорий, гибели растительности.

Истощение поверхностных вод возникает в результате безвозвратного изъятия вод рек и других водных объектов на орошение, промышленное производство, коммунально-бытовые нужды и т.д. Это приводит к снижению поверхностного стока, истощению малых рек и озер, регрессии морей, дефициту пресной воды.

На территории России поверхностный сток воды распределяется крайне неравномерно. Около 90% выносится в Северный Ледовитый и Тихий океаны, а на бассейны внутреннего стока (Каспийское и Азовское море), где проживает свыше 65% населения России, приходится менее 8% общего годового стока. В этих районах проблема истощения поверхностных вод проявляется наиболее остро. В связи с этим периодически рассматриваются предложения по переброске вод северных рек на юг. Однако этот проект чрезвычайно дорогостоящ и имеет трудно прогнозируемые экологические последствия.

Изъятие на хозяйственные цели большого количества воды из впадающих в водоемы рек может привести к их истощению. Примером может служить регрессия (отступление) Аральского моря. Его уровень с 60-х гг. XX в. катастрофически понижается в связи с недопустимым объемом забора воды из питающих Арал рек — Амударьи и Сырдарьи. Осушенное дно Аральского моря становится сегодня крупнейшим источником пыли и солей. В дельте Амударьи и Сырдарьи на месте гибнущих тугайных лесов и тростниковых зарослей появляются бесплодные солончаки.

Защита гидросферы

Поверхностные воды защищают от засорения, загрязнения и истощения. Для защиты от засорения предотвращают попадание в поверхностные водоемы и реки различных твердых отходов и других предметов. Для защиты от истощения контролируют минимально допустимые стоки вод. Для защиты от загрязнения применяют следующие мероприятия:

- развитие безотходных и безводных технологий и оборотного водоснабжения;
- очистка сточных вод (промышленных, коммунально-бытовых и др.);
- закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты (подземное захоронение);
- очистка и обеззараживание поверхностных вод, используемых для водоснабжения и других целей.

Безотходные и безводные технологии и оборотное водоснабжение. Главный загрязнитель поверхностных вод — сточные воды. Наиболее действенным способом защиты поверхностных вод от загрязнения сточными водами являются безводные и безотходные технологии. На начальном этапе создается оборотное водоснабжение. В его систему включают ряд очистных сооружений и установок, что создает замкнутый цикл использования сточных вод, которые при таком способе все время находятся в обороте и не попадают в поверхностные водоемы.

Очистка сточных вод. Существуют различные способы очистки сточных вод: механический, физико-химический, химический, биологический и термический. В зависимости от вида сточных вод их очистка может производиться каким-либо одним или комбинированными способами, с обработкой осадка (или избыточной биомассы) и обеззараживанием сточных вод перед сбросом их в водоем.

Механическая очистка основана на процеживании, отстаивании и фильтровании. При этом из сточных вод удаляются нерастворимые механические примеси: песок, глинистые частицы, окалина и др. Физико-химическая очистка предполагает коагуляцию, сорбцию, флотацию, экстракцию и другие методы. Из сточных вод удаляются

тонкодисперсные взвешенные частицы, минеральные и органические вещества. Химическая очистка основана на процессах нейтрализации, окисления, озонирования, хлорирования. Сточные воды очищаются от токсичных веществ и микроорганизмов. Биологическая (биохимическая) очистка основана на способности микроорганизмов использовать для своего питания многие органические и неорганические соединения из сточных вод (сероводород, аммиак, нитриты и т.д.). К термическим методам прибегают при очистке промышленных сточных вод, содержащих главным образом высокотоксичные органические компоненты, разрушающиеся при высоких температурах.

При всех методах очистки сточных вод необходима обработка и утилизация образующихся шламов и осадков (особенно при очистке токсичных промстоков). С этой целью их складывают на специальных полигонах, обрабатывают в биологических сооружениях, перерабатывают с помощью растений (гиацинты, тростник и др.) или сжигают в специальных печах.

Закачка сточных вод в глубокие водоносные горизонты (подземное захоронение) осуществляется через систему поглощающих скважин. При этом способе отпадает необходимость в дорогостоящей очистке и обезвреживании сточных вод и в сооружении очистных сооружений.

Агролесомелиорация и гидротехнические мероприятия защищают поверхностные воды от загрязнения и засорения. Они предотвращают эвтрофикацию озер, водохранилищ и малых рек, возникновение эрозии, оползней, обрушение берегов, уменьшают загрязненный поверхностный сток.

Водоохранные зоны защищают поверхностные воды от загрязнения, засорения и истощения. Они создаются на всех водных объектах. Их ширина на реках составляет от 0,1 до 1,5-2,0 км, включая пойму реки, террасы и береговой склон. В пределах этих зон запрещается распашка земель, выпас скота, применение пестицидов и удобрений, строительные

работы и др.

Подземные воды охраняют от загрязнения и истощения. Для защиты от истощения применяют:

- регулирование режима водозабора подземных вод;
- рациональное размещение водозаборов по площади;
- определение величины эксплуатационных запасов как предела их рационального использования;
- введение кранового режима эксплуатации самоизливающихся артезианских скважин и др.

Для защиты подземных вод от загрязнения применяют две группы мероприятий: профилактические и специальные.

Профилактические мероприятия направлены на предупреждение загрязнения. Они предусматривают устройство зон санитарной охраны (ЗСО) — территорий вокруг источников централизованного питьевого водоснабжения, создаваемых для исключения возможности загрязнения подземных вод.

Специальные мероприятия направлены на локализацию или ликвидацию очага загрязнения. Они предусматривают изоляцию источников загрязнения от остальной части водоносного горизонта (завесы, противодиффузионные стенки), а также на перехват загрязненных подземных вод с помощью дренажа. Для ликвидации локальных очагов загрязнения ведут длительные откачки загрязненных подземных вод.

Основами водного законодательства запрещены проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию предприятий, не обеспеченных водоочистными устройствами. Сброс отработанных вод допускается только с разрешения органов, контролирующих качество воды.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте экологические последствия загрязнения пресноводных и

морских экосистем.

2. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения развития эвтрофикации и цветения вод, «красных приливов».

3. Охарактеризуйте экологические последствия истощения подземных и поверхностных вод.

4. Охарактеризуйте основные мероприятия, направленные на защиту гидросферы.

Лекция № 8

Антропогенные воздействия на почву

Негативное антропогенное воздействие на почву проявляется в ее деградации (ухудшении качества почвы в результате снижения плодородия) и полном разрушении. Эти процессы могут происходить как в результате природных явлений (природное изменение условий почвообразования, извержение вулканов, ураганы и др.), так и в результате нерациональной хозяйственной деятельности человека. Явления деградации и полного разрушения почв многообразны.

Водная и ветровая эрозия почв. *Водная эрозия* — процесс разрушения почвенного покрова под действием талых и дождевых вод. В результате водной эрозии сокращается или уничтожается гумусовый горизонт почвы, что приводит к уменьшению содержания гумуса, азота, фосфора, калия и других питательных элементов, а также ухудшению структуры и уплотнению почвы. Помимо разрушения наиболее плодородной части почвы, водная эрозия сопровождается рядом других неблагоприятных явлений: потерей талых и дождевых вод, уменьшением запасов воды в почве, расчленением полей, заилением рек, оросительных и дренажных систем, других водоемов.

Развитие водной эрозии зависит от ряда факторов: мощность снегового покрова и интенсивность его таяния; количество интенсивность и величина капель дождевых осадков; характер рельефа; гранулометрический состав и структура почв; наличие и характер растительного покрова.

Ветровая эрозия (дефляция) — процесс разрушения почвенного покрова под действием ветра. Ветровая эрозия распространена преимущественно в районах недостаточного увлажнения и низкой относительной влажности воздуха.

Развитие ветровой эрозии зависит от следующих факторов: характер рельефа; гранулометрический состав и структура почв; наличие и характер растительного покрова.

Виды ветровой эрозии: *пыльные бури* и *повседневная дефляция*. Пыльные бури повторяются раз в 3—20 лет, уносят до 15-20 см поверхностного слоя почвы. Повседневная дефляция более медленно, но регулярно разрушает почву.

Промышленная эрозия почв — разрушение почвенного покрова промышленной деятельностью человека, а именно отчуждение почв городами, поселками, дорогами, линиями электропередачи и связи, трубопроводами, карьерами, водохранилищами, свалками и т.д.

Дегумификация почв — уменьшение содержания и запасов органического вещества. Дегумификация наблюдается при распашке целинных почв. Этот процесс наиболее интенсивен в первые 5-10 лет, а через 30-50 лет стабилизируется. Развитие дегумификации определяется соотношением в севооборотах пропашных культур и культур сплошного сева, удельным весом многолетних трав, применением органических и минеральных удобрений.

Почвоутомление и истощение почв — процессы, происходящие в почвах в результате длительного возделывания, одного вида сельскохозяйственных культур. Например, длительное возделывание подсолнечника приводит к обеднению почвы калием.

Вторичное засоление, осолонцевание и слитизация почв. Процессы вторичного засоления, осолонцевания и слитизации почв возникают на орошаемых почвах при несовершенных проектах и нарушении правил эксплуатации ирригационных систем.

Вторичное засоление — засоление почв при орошении почвы минерализованными водами или пресными водами в результате подъема уровня минерализованных грунтовых вод. *Вторичное осолонцевание* — комплекс процессов, вызванных содовым засолением: изменение реакции почвенного раствора (рН 9—11), увеличение содержания натрия в составе поглощенных катионов, пептизация коллоидов, повышение мобильности органического вещества, ухудшение водно-физических свойств почвы, прежде всего структуры.

Вторичная слитизация — ухудшение структуры почв вследствие содового засоления.

Причинами деградации орошаемых почв служат бездренажное орошение, большие потери воды на фильтрацию, превышение оросительных норм, неконтролируемая пддача воды, полив минерализованной водой.

Вторичная кислотность почв — кислотность почв ниже оптимальной реакции почв, которая для многих сельскохозяйственных растений находится в интервале рН 5,5-8; вторичная кислотность возникает в результате выбросов в атмосферу соединений кислот промышленного, транспортного и другого происхождения.

Затопление, разрушение и засоление почв водами водохранилищ. Создание водохранилищ сопровождается развитием комплекса негативных процессов, приводящих к деградации почвенного покрова: затопление пойменных и надпойменных террас, подъем уровня грунтовых вод и подтопление почв, абразия берегов и засоление дельт, размыв и уничтожение почв приморских дельт, загрязнение и содовое (щелочное) засоление вод и почв и др.

Промышленное загрязнение почв — результат осаждения паров, аэрозолей, пыли или растворенных соединений поллютантов на поверхность почвы с атмосферными осадками.

Сельскохозяйственное загрязнение почв — результат неправильного применения пестицидов, внесение сверхнормальных доз минеральных и органических удобрений, отходов и стоков животноводческих ферм.

Радиоактивное загрязнение почв — накопление в почве радионуклидов в результате ядерных взрывов, аварийных выбросов на атомных предприятиях, утечки радиоактивных материалов, захоронении отходов атомной промышленности.

Деградация ландшафтов районов с распространением многолетней мерзлоты. Эти территории отличаются крайней неустойчивостью к воздействию антропогенных факторов. Неупорядоченное движение транспорта, перевыпас и другие процессы приводят к нарушению растительного покрова, что обуславливает протаивание мерзлых грунтов, развитие эрозионных процессов, разрушение почвенного покрова.

Разрушение почв военными действиями происходит в результате передвижения военной техники, строительства фортификационных сооружений, взрывов бомб, снарядов и т.д. Испытание и применение ядерного оружия вызывает радиоактивное загрязнение почв.

Защита почв

В целях защиты почв от деградации применяют следующие экозащитные мероприятия:

- защита почв от водной и ветровой эрозии;
- рекультивация нарушенного почвенного покрова;
- защита почв от дегумификации, почвоутомления и истощения;
- защита почв от засоления, осолонцевания и слитизации;
- защита почв от загрязнения продуктами техногенеза (тяжелыми металлами, нефтью, нефтепродуктами, пестицидами, радионуклидами и т.д.).

Защита почв от водной и ветровой эрозии включает организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические мероприятия.

Организационно-хозяйственные мероприятия — обоснование и составление плана противоэрозионных мероприятий и обеспечение его выполнения (рациональное распределение земельных угодий, почвозащитные севообороты, земледелие полосами, регулирование выпаса скота и др.)

Агротехнические мероприятия включают приемы фи-томелиорации (севообороты с многолетними травами, замена чистых паров на занятые, сидеральные и кулисные), противоэрозионную обработку почвы (обработка почв по горизонтали, «контурное» земледелие, щелевание и крото-вание почв, обвалование, безотвальная вспашка с сохранением стерни и пожнивных остатков), снегозадержание и регулирование снеготаяния (лесные полосы и кулисы, пахота снега, прикатывание).

Лесомелиоративные мероприятия основаны на создании лесных защитных насаждений (ветрозащитные и приовражные лесные полосы, полезащитные лесные и кустарниковые полосы поперек склонов и т.д.).

Гидротехнические мероприятия применяют в тех случаях, когда другие приемы не в состоянии предотвратить эрозию, и основаны на создании гидротехнических сооружений, обеспечивающих задержание или регулирование склонового стока (террасирование склонов, выполаживание оврагов бульдозерами, закрепление склонов оврагов).

Рекультивация земель — мероприятия по восстановлению и оптимизации нарушенных ландшафтов. Она включает комплекс горно-технических, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесохозяйственных и инженерно-строительных работ, направленных на восстановление нарушенного плодородия земель. На восстановленной территории создаются сельскохозяйственные угодья, лесонасаждения, водоемы, зоны отдыха, жилые и промышленные застройки и т.д. Рекультивация включает три этапа: подготовительный, горно-техническая рекультивация и биологическая рекультивация.

I этап (подготовительный) предполагает обследование нарушенных территорий, определение направления рекультивации, составление технико-экономическое обоснование и проект рекультивации.

II этап (горно-техническая рекультивация) включает химическую мелиорацию, если она необходима. Горно-техническую рекультивацию *выполняют предприятия, которые ведут разработку полезных ископаемых.*

III этап (биологическая рекультивация) направлен на восстановление плодородия подготовленных в процессе горнотехнической рекультивации земель и превращение их в полноценные лесные или сельскохозяйственные угодья. Наиболее дешевым видом освоения рекультивируемых территорий является облесение. Для улучшения свойств верхнего слоя отвалов, для накопления в нем органического вещества и азота перед посадкой деревьев высевают люпин, донник или люцерну с последующей их запашкой. Деревья сажают саженцами в заполненные нетоксичной породой или почвой ямки или борозды. При рекультивации земель в сельскохозяйственные угодья проводят известкование, рыхление до глубины 60 см, внесение удобрений, посев злаковобобовой смеси. После этого вводят специальный севообо

рот, где 40-50% составляют многолетние травы. После такого севооборота рекультивируемые земли могут быть заняты зональным полевым или кормовым севооборотом.

Защита почв от дегумификации, почвоутомления и истощения включает следующие мероприятия: применение органических удобрений, известкование кислых почв, использование в севообороте многолетних трав, регулирование соотношения в севооборотах пропашных культур и культур сплошного сева, использование щадящей обработки почвы (облегчение машин, минимизация обработки).

Защита почв от засоления, осолонцевания и слитизации. Защита почв от потерь поливной воды и вторичного засоления включает следующие мероприятия: создание

закрытой сети каналов, исключаящих фильтрацию; создание дренажных сооружений, обеспечивающих удержание соленых грунтовых вод на глубине не менее 1,5—3 м; капитальные промывки почв, если они засолены, для удаления солей из корнеобитаемого горизонта; регулярные вегетационные поливы с дренажными водоотводами.

Защита почв от содового засоления и слитости включает следующие мероприятия: химическая мелиорация (внесение гипса), применение физиологически кислых и кальцийсодержащих удобрений, включение в севооборот многолетних трав.

Защита почв от загрязнения продуктами техногенеза (тяжелыми металлами, нефтью, нефтепродуктами, пестицидами, радионуклидами и т.д.) осуществляется двумя путями. Первый путь состоит в предотвращении попадания загрязняющих веществ в почву. Второй заключается в очищении почвы от загрязнения, которое уже произошло. Очищение может производиться путем удаления верхнего загрязненного слоя почвы, путем промывок или извлечения загрязняющих веществ из почвы с помощью растений (для тяжелых металлов и радионуклидов), интенсификации микробного разложения органических загрязнителей (для нефтепродуктов и пестицидов) и т.д. Еще один подход основан на закреплении атомов токсичных элементов в почве с целью недопущения попадания их в сопредельные среды и живые организмы. Для этого используют внесение в почву органического вещества, фосфорных минеральных удобрений, ионообменных смол, природных цеолитов, бурого угля, известкование почвы и т.д.

Защита почв от избытка удобрений включает следующие мероприятия: разработка новых длительно действующих гранулированных форм удобрений, применение комплексных форм, использование правильных технологий внесения удобрений, соблюдение правил хранения и транспортировки.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят основные антропогенные воздействия на почву?
2. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения водной и ветровой эрозии почв.
3. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения промышленной эрозии почв.
4. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения дегумификации почв.
5. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения почвоутомления и истощения почв.
6. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения засоления, осолонцевания и слитизации почв.
7. Осветите причины, негативные последствия и пути предотвращения загрязнения почв.
8. Охарактеризуйте основные мероприятия, направленные на защиту литосферы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Сжигание топлива на тепловых электростанциях и в котельных приводит к выбросу в атмосферу продуктов сгорания органического топлива, содержащих токсичные оксиды азота NO_x (главным образом монооксид азота NO и в меньшей степени - диоксид NO_2).

Количество образующихся оксидов азота зависят от характеристики топлива и от конструктивного исполнения топочной камеры, поэтому на стадии проектирования котлов необходимо провести расчет ожидаемых выбросов оксидов азота и предусмотреть меры по снижению их до величин, максимально приближающихся к нормативам удельных выбросов NO_x в атмосферу (приложение А).

В топках при горении топлива образуется 95-99% монооксида азота NO и 1-5% более токсичного диоксида азота NO_2 . В атмосфере происходит неконтролируемое превращение NO в NO_2 , в связи с чем расчет ведется условно на NO_2 . Для расчета доли диоксида азота в суммарном содержании NO_x в атмосферном воздухе при расчете загазованности и нормировании выбросов ТЭС условно применяется коэффициент 0,8.

Источниками оксидов азота являются молекулярный азот воздуха, используемого в качестве окислителя при горении, и азотсодержащие компоненты топлива. В связи с этим принято делить оксиды азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Зельдовича) и так называемые "быстрые" оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеводородных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом OH .

2. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА

2.1 Массу выбросов оксидов азота M_{NO_2} (г/с) рассчитывают по удельным выбросам или по концентрации оксидов азота:

$$M_{NO_2} = B_p \cdot Q_i^2 \cdot K_{NO_2} \quad (1)$$

$$M_{NO_2} = B_p \cdot V_{C.G.} \cdot C_{NO_2} \quad (2)$$

где B_p - расчетный расход топлива, кг/с (m^3/c);

Q_i^2 - теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/ m^3);

K_{NO_2} - удельный выброс оксидов азота в пересчете на NO_2 , кг/ГДж;

C_{NO_2} - концентрация оксидов азота, г/ m^3 , в сухой пробе газа при стандартных условиях и при определенном коэффициенте избытка воздуха α (рекомендуется все расчеты концентрации NO_x при сжигании твердого топлива, газа и мазута пересчитывать на $\alpha = 1,4$);

$V_{C.G.}$ - объем сухих дымовых газов, m^3/kg (m^3/m^3), при том же коэффициенте избытка воздуха α , что и C_{NO_2}

2.2 Объем сухих дымовых газов рассчитывается по формуле:

$$V_{C.G.} = V_G^\circ + (\alpha - 1) \cdot v^\circ - v_{H_2O}^\circ \quad (3)$$

где V° , V_G° , $v_{H_2O}^\circ$ - соответственно, объем воздуха, дымовых газов и водяных паров при стехиометрическом сжигании 1 кг (или 1 m^3) топлива, m^3/kg (m^3/m^3).

2.3. Для твердого и жидкого топлива расчет выполняют на основе химического состава сжигаемого топлива по формулам:

$$V^\circ = 0,0889(C^2 + 0,375S_{OP+K}^2 + 0,265H^2) - 0,0333O^2 \quad (4)$$

$$v_{H_2O}^\circ = 0,1111 + 0,0124W + 0,0101W^\circ \quad (5)$$

$$V_G^\circ = v_{RO_2} + v_{N_2} + v_{H_2O} + 1,000 \cdot \frac{C^2 + 0,375S^2}{100} + 0,17v^\circ + 0,01v / 100 + v_{H_2O}^\circ \quad (6)$$

где C^2 , $S_{ор+к}^2$, H^2 , O^2 , N^2 - соответственно, содержание углерода, серы (органической и колчеданной), водорода, кислорода и азота в рабочей массе топлива, в процентах.

W^2 - влажность рабочей массы топлива, в процентах.

2.4 Для газообразного топлива расчет выполняют по формулам:

$$V^\circ = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) Cm \cdot Hn - O_2 \right] \quad (7)$$

$$V_{H_2O}^\circ = 0,01 \left[11,2v + 11,2 + \sum \frac{m}{2} Cm \cdot Hn + 0,124u_{Г.ТЛ} \right] + 0,0101v^\circ \quad (8)$$

$$V_G^\circ = 0,01 \left[CO_2 + CO + 11,2v + \sum m \cdot Cm \cdot Hn \right] + 0,17v^\circ + \frac{\lambda T}{100} + v_{H_2O}^\circ \quad (9)$$

где CO , CO_2 , H_2 , H_2S , $CmHn$, N_2 , O_2 - соответственно, содержание оксида углерода, диоксида углерода, сероводорода, углеводородов, азота и кислорода в исходном топливе, m^3/m^3 (при 273 К и 101,3 кПа);

m и n - число атомов углерода и водорода, соответственно.

Химический состав твердого, жидкого и газообразного топлива можно определить по периодически переиздаваемому справочнику "Энергетическое топливо в СССР" или по другим аналогичным справочникам.

2.5. Соотношение между удельными выбросами и концентрацией оксидов азота определяет по формулам:

$$K_{NO_2} = C_{NO_2} \cdot V_{C.Г.} / Q_i^2 \quad (10)$$

$$C_{NO_2} = K_{NO_2} \cdot Q_i^2 / V_{C.Г.} \quad (11)$$

3 РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ДЛЯ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

3.1 Исходные данные, необходимые для расчета удельных выбросов:

N^2 - содержание азота в топливе, в % на рабочую массу;

Q_i^2 - теплота сгорания топлива, МДж/кг;

Тип горелок (вихревые, прямоточные, с подачей пыли высокой концентрации);

$\alpha_{Г.}$ - коэффициент избытка воздуха в горелках;

α_1 - доля первичного воздуха по отношению к теоретически необходимому;

$r_{Г.}$ - степень рециркуляции дымовых газов через горелки, %;

W_2/W_1 , - отношение скоростей в выходном сечении горелок;

$\Delta\alpha_T$ - присосы в топку;

$\Delta\alpha_3$ - третичный воздух, подаваемый в топку помимо горелок;

$\Delta\alpha_{СБР}$ - сбросной воздух (сушильный агент) при транспорте пыли к горелкам горячим воздухом;

T_{AG}'' - температура за зоной активности горения, К.

3.2 Удельные выбросы оксидов азота K_{NO_2} (г/МДж) складываются из топливных $K_{NO_2}^{ТЛЛ}$ и воздушных $K_{NO_2}^{ВЗЛ}$ оксидов азота:

$$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{ТЛЛ} + K_{NO_2}^{ВЗЛ} \quad (12)$$

3.3 Топливные оксиды азота подсчитывают по формуле:

$$K_{NO_2}^{ТЛЛ} = 0,7 \cdot N_T \cdot \beta_{\alpha_{Г.}} \cdot \beta_{\alpha_1} \cdot \beta_{r_{Г.}} \cdot \beta_{W_2} \cdot \beta_{СМ} \quad (13)$$

где N_T - содержание азота в топливе, г/МДж

$$N_T = 10N^2 / Q_i^2 \quad (14)$$

Значения коэффициентов формулы (13) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Фактор, который учитывается коэффициентом	Зависимость	Диапазон пригодности зависимости
Влияние коэффициента избытка воздуха в вихревой горелке β_{α_T}	$(0,35\alpha_T + 0,4)^2$	$0,9 \leq \alpha_T \leq 1,3$
Влияние коэффициента избытка воздуха в прямоточной горелке $\beta_{\alpha_T}^{ПРМ}$	$(0,53\alpha_T + 0,12)^2$	$0,9 \leq \alpha_T \leq 1,3$
Влияние доли первичного воздуха в горелке β_{α_1}	$1,73\alpha_1 + 0,48$	$0,15 \leq \alpha_1 \leq 0,55$
Влияние рециркуляции дымовых газов в первичный воздух (без учета снижения температуры в зоне активного горения) β_{r_T}	$1 - 0,016\sqrt{r_T}$	$0 \leq r \leq 30\%$
Влияние максимальной температуры на участке образования топливных оксидов азота β_g	$0,11\sqrt[3]{T_{AG}'' - 1100}$	$1250 \leq T_{AG}'' \leq 2050 \text{ К}$
Влияние смесеобразования в корне факела вихревых горелок $\beta_{CM}^{ВХР}$	$0,4(W_2 / W_1)^2 + 0,32$	$1,0 \leq W_2 / W_1 \leq 1,6$
Влияние смесеобразования в корне факела прямоточных горелок $\beta_{CM}^{ПРМ}$	$0,98 \cdot W_2 / W_1 - 0,47$	$1,4 \leq W_2 / W_1 \leq 4,0$

3.4 При транспорте пыли к горелкам высокой концентрации значение $K_{NO_2}^{ТПЛ}$, подсчитанное по формуле (13), умножают на коэффициент 0,8. При этом долю первичного воздуха α_1 и отношение W_2 / W_1 , принимают равными тем значениям, которые были бы выбраны в соответствии с Руководящими указаниями "Проектирование топков с твердым шлакоудалением: (Л.: НПО ЦКТИ, вып. 42, 1981) при обычной подаче пыли к горелкам первичным воздухом.

3.5 Воздушные оксиды азота образуются в зоне максимальных температур, то есть там, где поля концентраций, скоростей и температур отдельных горелок уже выровнялись. Следовательно, $K_{NO_2}^{ВЗД}$ определяется в основном не особенностями горелок, а интегральными параметрами топочного процесса.

Для подсчета $K_{NO_2}^{ВЗД}$ используют зависимость, учитывающую известное уравнение Зельдовича:

$$K_{NO_2}^{ВЗД} = 1,54 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{AG}'' - 1}{\alpha_{AG}''}} \cdot \ell^{\frac{67000}{T_{AG}''}} \quad (15)$$

где α_{AG}'' - коэффициент избытка воздуха в зоне активного горения, условно принимаемый как сумма организованно подаваемого воздуха через горелки и присосов через нижнюю часть топочной камеры, т.е.

$$\alpha_{AG}'' = \alpha_T + 1/2\Delta\alpha_T \quad (16)$$

T_{AG}'' - температура на выходе из зоны активного горения, К.

Уравнение (15) справедливо в диапазоне коэффициентов избытка воздуха $1,05 \leq \alpha_{AG}'' \leq 1,4$ и до температуры $T_{AG}'' = 2050$ К. При $T_{AG}'' < 1800$ К величиной $K_{NO_2}^{BЗД}$ можно пренебречь.

В приложении Б приведены значения $K_{NO_2}^{BЗД}$ при различных значениях α_{AG}'' и T_{AG}'' , а на рисунках 1-3 - номограммы для приближенного расчета количества выбросов топливных и воздушных оксидов азота $K_{NO_2}^{ППП}$ и $K_{NO_2}^{BЗД}$, а также их концентраций $C_{NO_2}^{ППП}$ и $C_{NO_2}^{BЗД}$ в пересчете на коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$ ($O_2 = 6\%$).

Температуру в конце зоны активного горения T_{AG}'' рассчитывают по Руководящим указаниям "Проектирование топок с твердым шлакоудалением (Л.: НПО ЦКТИ, вып. 42, 1981).

Для случая, когда рециркуляция дымовых газов через горелки отсутствует, формула для расчета температуры в конце зоны активного горения \mathcal{G}_{AG}'' °С имеет вид:

$$\mathcal{G}_{AG}'' = \frac{100 - q_{rГ} \cdot Q_i^2 + Q_B}{100 - q_r} \cdot \frac{Q_i^2 + Q_B}{(V_C)_Г} - \frac{(T_{AG}'')^4 \cdot 2,05 \cdot 10^{-10} \cdot A_T \cdot \psi F}{B_p \cdot (V_C)_Г} \quad (17)$$

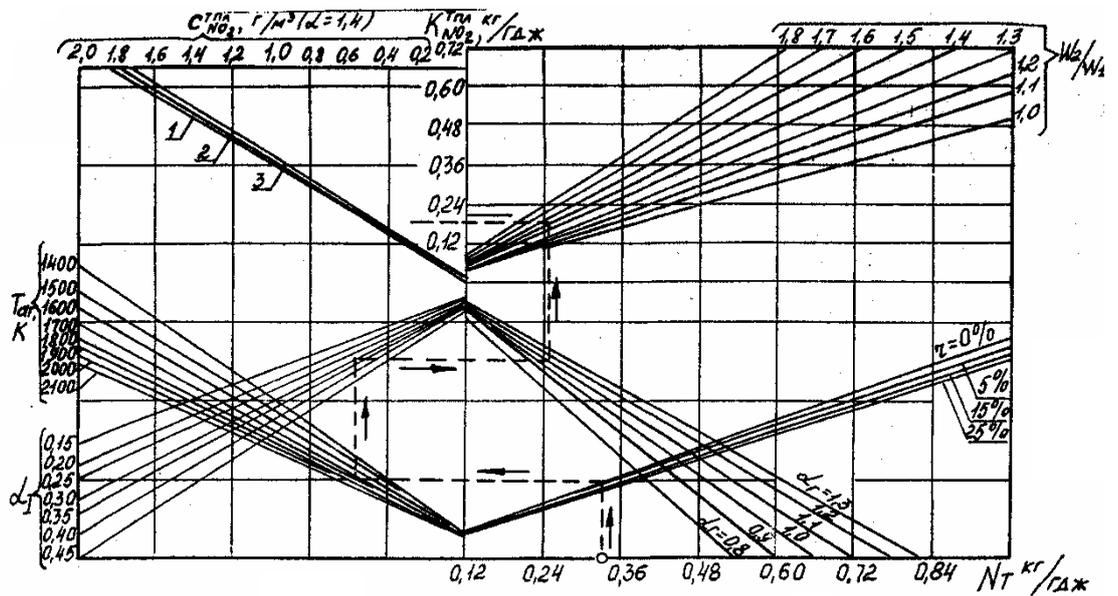
где Q_B - теплосодержание воздуха, поступающего через горелки, МДж/кг;

$(V_C)_Г$ - средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива, МДж/(кг·°С);

ψF - произведение коэффициента эффективности на суммарную поверхность, ограничивающую зону активного горения, м²;

A_T - степень черноты топки в зоне максимального тепловыделения (определяется по "Тепловому расчету котельных агрегатов (нормативный метод)" (М.: Энергия, 1973).

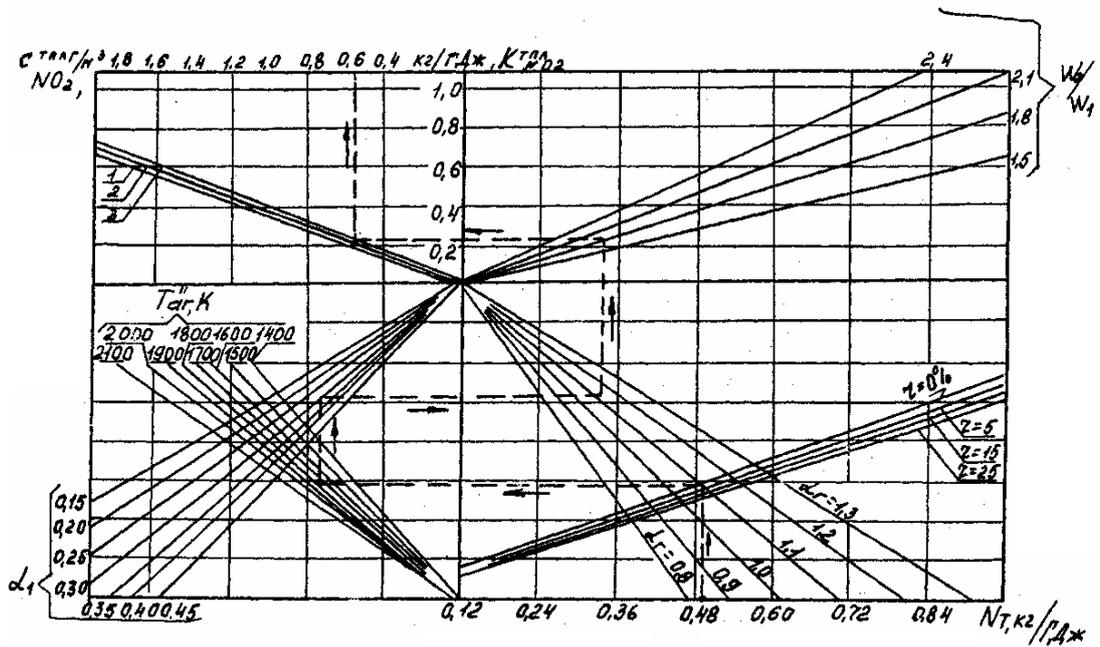
Приведенное уравнение решается методом последовательных приближений, т.к. в его правую часть входит $T_{AG}'' = \mathcal{G}_{AG}'' + 273$. Для приблизительной оценки \mathcal{G}_{AG}'' вместо расчета по формуле (17) можно воспользоваться номограммой (рисунок 4). Правая часть, этой номограммы позволяет оценить адиабатическую температуру (1-й член уравнения (17)). Затем на верхней части вертикальной оси откладывается произвольное значение T_{AG}'' (точка (2)) и по левой части номограммы определяется 2-й член уравнения (17). Если разница 1-го и 2-го членов (на нижней части вертикальной оси) будет более чем на 50 °С отличаться от предварительно выбранной величины $T_{AG}'' (\mathcal{G}_{AG}'')$, то необходимо сделать 2-е приближение.



Черт. 1.

1 - каменные угли; 2 - антрацит и сланцы; 3 - бурые угли

Рисунок 1 - Номограмма для оценки выбросов и концентраций топливных оксидов азота при установке вихревых горелок



Черт. 2.

1 - каменные угли; 2 - антрацит и сланцы; 3 - бурые угли

Рисунок 2 - Номограмма для оценки выбросов и концентраций топливных оксидов азота при установке прямоточных горелок

При наличии рециркуляции дымовых газов расчет следует выполнять по "Руководящим указаниям по проектированию топок с твердым шлакоудалением".

3.6 Величина воздушных оксидов азота $K_{NO_2}^{ВЗД}$ может быть снижена за счет уменьшения T_{AG}^* , причем эффективность любых мероприятий в этой области будет тем больше, чем выше исходное значение температуры.

Снижение величины топливных оксидов азота $K_{NO_2}^{ТПП}$ может быть осуществлено путем изменения нескольких параметров, влияние которых учитывают приведенными выше безразмерными коэффициентами (см. таблицу 1).

В качестве примера в приложении В приведены расчет для котлов БКЗ-210-140Ф, работающих на промпродукте кузнечных каменных углей, БКЗ-420-140-5 на экибастузском СС и ТП-87 на двух марках кузнечных углей: СС и Т.

4 Расчет концентрации оксидов азота при сжигании газа и мазута

4.1. Исходные данные, необходимые для расчета концентрации оксидов азота в дымовых газах энергетических котлов:

D_n - номинальная паропроизводительность котла, кг/с;

D - фактическая паропроизводительность котла, кг/с;

Q_i^q - низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/м³ (МДж/кг);

V_p - расход топлива (расчетный), м³/с (кг/с);

q_i - доля топлива или воздуха, поступающая через каждый ярус горелок, от общего количества поступающего через все горелки;

n_i - доля горелок в каждом ярусе от общего количества горелок.

Геометрические размеры зоны активного горения:

$a_{ТП}$ - ширина топки (в свету), м (при наличии двусветного экрана - ширина одной ячейки);

$b_{ТП}$ - глубина топки (в свету), м;

$Z_{яp}$ - число ярусов горелок;

$h_{яp}$ - расстояние между ярусами горелок, м;

φ_T - коэффициент, учитывающий степень выгорания топлива в факелах горелок в пределах зоны активного горения, зависящий от конструкции горелок: унифицированные и оптимизированные горелки - 1, двухпоточные горелки стадийного сжигания - 0,7, многопоточные горелки стадийного сжигания - 0,58, многопоточные горелки стадийного сжигания с подачей части топлива в инертные газы - 0,42;

T_a - температура воздуха перед горелками. К;

α - коэффициент избытка воздуха в конце топки;

r - степень (доля) рециркуляции дымовых газов, %

m - показатель, зависящий от вида топлива: для газа-0,5, для мазута - 0,47;

$a_{рец}$ - коэффициент, зависящий от способа ввода рециркуляции газов: в под топки - 0,005, в шлицы под горелки - 0,02, снаружи воздушного потока горелки - 0,14, в дутьевой воздух - 0,16, между воздушными потоками горелки - 0,19;

δ - доля воздуха от теоретически необходимого, подаваемого в топку помимо горелок (вторичный воздух), %

$a_{зг}$ - коэффициент, зависящий от места расположения ввода вторичного воздуха относительно зоны горения: ниже или в пределах зоны активного горения - 0, выше зоны активного горения - 0,01;

$a_{СТ}$ - коэффициент, учитывающий способ подачи вторичного воздуха: навстречу факелу - 0,015; под горелками - 0,007, над горелками - 0,018;

μ - степень перераспределения топлива или воздуха по ярусам горелок, %.

$$\mu = \sum_{i=1}^{Z_{яp}} |q_i - n_i| \cdot 100, \quad (18)$$

a_{HC} - коэффициент, учитывающий размещение горелок при перераспределении топлива или воздуха по ярусам: однофронтное - 0,016, встречное - 0,009;

g - относительное количество влаги, вводимой в зону горения (% от массового расхода топлива);

$a_{вл}$ - коэффициент, учитывающий место ввода влаги: в корень факела через горелки - 0,025, в пристенную зону - 0,015;

N^r - содержание связанного азота в топливе (мазуте), % на рабочую массу.

4.2 На основании геометрических размеров топки определяют тепловую нагрузку $q_{ЛГ}$ (МВт/м²) лучевоспринимающей поверхности зоны активного горения

$$q_{ЛГ} = \frac{Q_i^r \cdot B_p}{2(a_{ТП} + \epsilon_{ТП}) Z_{ЯР} \cdot h_{ЯР} + 1,5 \cdot a_{ТП} \cdot \epsilon_{ТП}}, \quad (19)$$

При наличии в топке двусветного экрана B_p принимается на одну ячейку.

Для топок с одноярусным расположением горелок (единичной, мощностью от 30 до 60 МВт) $Z_{ЯР} \cdot h_{ЯР} = 3$ м. При подовой компоновке горелок единичной мощностью от 50 до 95 МВт $Z_{ЯР} \cdot h_{ЯР} = 7,5$ м, для горелок 96-160 МВт - $Z_{ЯР} \cdot h_{ЯР} = 10$ м.

4.3 Исходную концентрацию оксидов азота $C_{NO_x}^{ИСХ}$ (мг/м³), определяемую конструкцией топочной камеры и горелочных устройств ($0,5 < q_{ЛГ} < 3,0$ МВт/м²) с учетом масштабного коэффициента тепловой производительности K_M при номинальной нагрузке и $\alpha = 1,02$ рассчитывают по формулам:

при сжигании газа:

$$C_{NO_x}^{ИСХ} = 613 \cdot (\varphi_G \cdot q_{ЛГ})^{0,88} \cdot K_M \quad (20)$$

при сжигании мазута концентрация складывается из двух составляющих:

$$C_{NO_x}^{ИСХ} = C'_{NO_x} + C''_{NO_x} \quad (21)$$

где

$$C'_{NO_x} = 632(\varphi_G \cdot q_{ЛГ})^{0,62} \cdot K_M \quad (22)$$

$$C''_{NO_x} = 220(N^r - 0,25) \cdot K_M \quad (23)$$

Второй член учитывает количество NO_x , образующееся при отклонении содержания азота в мазуте от среднего уровня, равного 0,25%.

Коэффициент K_M вычисляют по формуле:

$$K_M = 1 - \exp\left(-\frac{1,5 + (\varphi_G \cdot B_p \cdot Q_i^r)^{0,41}}{7,1}\right) \quad (24)$$

4.4 Полученные результаты по исходной концентрации оксидов азота дополняют коэффициентами, учитывающими:

температуру воздуха, поступающего в горелки, $K_{ГВ}$;

коэффициент избытка воздуха, K'_α для газа и K''_α для мазута;

ввод рециркуляции дымовых газов, K_r ;

тепловую мощность зоны активного горения при ступенчатом сжигании, $K_{ЗГ}$;

организацию схемы ступенчатого сжигания, $K_{СТ}$;

нестехиометрическое сжигание по ярусам горелок, $K_{НС}$;

подачу влаги, $K_{ВЛ}$;

действительную нагрузку котла, K_N .

Расчетную концентрацию оксидов азота определяют:

для газа:

$$C_{NO_x} = C_{NO_x}^{ИСХ} \cdot K_{ГВ} \cdot K'_\alpha \cdot K_r \cdot K_{ЗГ}^{0,88} \cdot K_{СТ} \cdot K_{НС} \cdot K_{ВЛ} \cdot K_N, \quad (25)$$

для мазута:

$$C_{NO_x} = (C'_{NO_x} \cdot K_{ЗГ}^{0,62} + C''_{NO_x} \cdot K''_\alpha) K_{ГВ} \cdot K'_\alpha \cdot K_r \cdot K_{СТ} \cdot K_{НС} \cdot K_{ВЛ} \cdot K_N, \quad (26)$$

4.5 Коэффициенты вычисляются по формулам:

$$K_{ГВ} = 1 - 0,001 \cdot (620 - T_6); \quad (27)$$

$$K'_\alpha = 1,35 - 43 \cdot (\alpha - 1,09)^2 + 2 \cdot (\alpha - 1,09); \quad (28)$$

$$K''_\alpha = 4,55 \cdot (\alpha - 0,8); \quad (29)$$

$$K_r = 1 - a_{pec} \cdot r^m; \quad (30)$$

$$K_{3Г} = 1 - a_{3Г} \cdot \delta; \quad (31)$$

$$K_{СТ} = 1 - a_{СТ} \cdot \delta; \quad (32)$$

$$K_{HC} = 1 - a_{HC} \cdot \mu; \quad (33)$$

$$K_{ВЛ} = 1 - a_{вЛ} \cdot g; \quad (34)$$

$$K_N = (D / D_H)^{1,25} \quad (35)$$

Пример расчета концентраций оксидов азота приведен в приложении Г.

5 Расчет удельных выбросов или концентрации при совместном сжигании угля с мазутом или газом

5.1. При проектировании новых котлов, рассчитанных на сжигание угля и природного газа или угля и мазута, расчет выбросов оксидов азота должен выполняться для случая работы котла с номинальной нагрузкой полностью на худшем в экологическом отношении топливе. Приведенное содержание азота на 1 ГДж у всех марок углей выше, чем у мазута, а у природного газа связанный азот вообще отсутствует. Следовательно, для котлов, которые проектируются на несколько видов топлива, включая уголь, расчет выбросов оксидов азота следует выполнять по формулам раздела 3.

5.2. В действующих котлах часто сжигаются одновременно уголь и мазут или уголь и газ. В этом случае расчет концентрации оксидов азота C_{NO_2} (г/м³) проводится по формулам (10-15) (для твердого топлива), а затем полученную концентрацию C_{NO_2} нужно умножить на поправочный безразмерный коэффициент:

при сжигании газа вместе с углем:

$$\psi_G = 1 - \sqrt{\delta_G / 2,5} \quad (36)$$

при сжигании мазута вместе с углем:

$$\psi_M = 1 - \sqrt{\delta_M / 1,65} \quad (37)$$

где δ_G и δ_M доля газа или мазута по теплу.

5.3 Доли газа и мазута по теплу рассчитывают по формуле:

$$\delta_i = \frac{B_i \cdot (Q_i^2)_i}{B_y (Q_i^2)_y + B_i (Q_i^2)_i} \quad (38)$$

где B_i - расчетный расход газа или мазута, м³/с (кг/с);

Q_i^2 - теплота сгорания газа или мазута, МДж/м³ (МДж/кг);

B_y и $(Q_i^2)_y$ - то же, для угля, кг/с и МДж/кг.

5.4 Для определения удельных выбросов K_{NO_2} (кг/ГДж) можно воспользоваться уравнением (10), в правую часть которого подставляется полученная величина C_{NO_2} (с поправкой по уравнениям (35) или (36)). Объем сухих дымовых газов и теплоту сгорания при сжигании угля с мазутом рассчитывают по формулам:

$$(V_{с.г})_{сМ} = \delta_M (V_{с.г})_M + (1 - \delta_M) (V_{с.г})_y \quad (39)$$

$$(Q_i^2)_{сМ} = \delta_M (Q_i^2)_M + (1 - \delta_M) (Q_i^2)_y \quad (40)$$

где δ_M - доля мазута по теплу, определяемая по (37), а $(V_{C.G})_M$ и $(Q_i^2)_M$ соответственно, объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании мазута, $\text{нм}^3/\text{кг}$ при $\alpha = 1,4$ и теплота сгорания мазута, $\text{МДж}/\text{кг}$.

При сжигании угля совместно с газом расчет выполняется условно на 1 кг твердого топлива с учетом количества газа, приходящегося на 1 кг угля:

$$(V_{C.G})_{CM} = (V_{C.G})_y + X(V_{C.G})_G \quad (41)$$

$$(Q_i^2)_{CM} = (Q_i^2)_y + X(Q_i^2)_G \quad (42)$$

где X - количество газа на 1 кг твердого топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Если смесь топлив задана долями тепловыделения каждого топлива (δ_y и δ_G), то количество газа, приходящееся на 1 кг твердого топлива, составляет:

$$X = \frac{\delta_G}{\delta_y} \cdot \frac{(Q_i^2)_y}{(Q_i^2)_G}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (43)$$

Приложение А.
(Справочное)

Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов азота для котельных установок, вводимых на ТЭС до 31.12.2000

Таблица А1

Тепловая мощность котлов Q , МВт	Размерность	г/МДж	кг/т.у.т.	мг/нм ³ сух. газа ($\alpha=1,4$)
	Виды топлива			
100-299	Газ	0,05	1,46	150
	Мазут	0,10	2,93	290
	Бурий уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,12	3,5	320
	жидкое шлакоудаление	0,13	3,81	350
	Каменный уголь:			
твердое шлакоудаление	0,17	4,98	470	
жидкое шлакоудаление	0,23	6,75	640	
от 300 и выше	Газ	0,05	1,46	150
	Мазут	0,103	3,03	300
	Бурий уголь	0,14	3,95	370
	Каменный уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,2	5,86	540
	жидкое шлакоудаление	0,25	7,33	700

Таблица А2

Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов азота для котельных установок, вводимых на ТЭС с 01.01.2001

Тепловая мощность котлов Q , МВт	Размерность	г/МДж	кг/т.у.т.	мг/нм ³ сух. газа ($\alpha=1,4$)
	Виды топлива			
100-299	Газ	0,043	1,26	125
	Мазут	0,086	2,52	250
	Бурый уголь	0,11	3,2	300
	Каменный уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,17	4,98	470
	жидкое шлакоудаление	0,23	6,75	640
от 300 и выше	Газ	0,043	1,26	125
	Мазут	0,086	2,52	250
	Бурый уголь	0,11	3,2	300
	Каменный уголь:			
	твердое шлакоудаление	0,13	3,81	350
	жидкое шлакоудаление	0,21	5,97	570

Приложение Б
(Справочное)

Величина воздушных оксидов азота

Таблица Б1

$K_{NO_2}^{B3D}$, г/МДж

$T_{A.G}''$	$\alpha''_{a.g}$								
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
1800	0,005	0,007	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014
1820	0,008	0,011	0,013	0,015	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021
1840	0,012	0,017	0,020	0,023	0,025	0,026	0,028	0,029	0,031
1860	0,018	0,024	0,029	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043	0,045
1880	0,026	0,036	0,043	0,048	0,053	0,057	0,060	0,063	0,066
1900	0,037	0,051	0,062	0,70	0,077	0,082	0,087	0,092	0,095
1920	0,054	0,074	0,089	0,100	0,110	0,118	0,125	0,131	0,137
1940	0,076	0,105	0,127	0,143	0,157	0,168	0,178	0,187	0,195
1960	0,108	0,149	0,179	0,203	0,222	0,238	0,252	0,265	0,276
1980	0,152	0,210	0,252	0,285	0,312	0,335	0,355	0,372	0,388
2000	0,212	0,292	0,351	0,417	0,435	0,467	0,495	0,520	0,542
2020	0,294	0,405	0,487	0,551	0,603	0,648	0,687	0,721	0,751

Пример расчета удельных выбросов и концентрации оксидов азота при сжигании
твердого топлива

Таблица В1 (без использования ЭВМ)

Рассчитываемая величина	Формула или обоснование	БКЗ-210-140Ф		БКЗ-420-140-5	ТП-87	ТП-87
		до реконструкции	после реконструкции			
1	2	3	4	5	6	7
Марка угля	Техническое задание на котел или эксплуатационные данные	Промпродукт кузнецкого каменного угля		Экибастузский СС	Кузнецкий СС (Кедровский)	Кузнецкий Т (Краснобродский)
Содержание азота в топливе, N^2 %	То же	1,6	1,6	0,8	1,88	1,59
Теплота сгорания топлива, Q_i , МДж/кг	"-	20,95	20,95	15,87	26,21	28,43
Содержание азота в топливе, N_T г/МДж	Формула (14)	0,76	0,76	0,504	0,72	0,56
Тип горелок	Описание котла	Прямоточные		Вихревые	Вихревые	Вихревые
Коэффициент избытка воздуха в горелках α_L	Тепловой расчет котла или эксплуатационные данные	1,12	0,95	1,20	1,10	1,10
Доля первичного воздуха α_1	То же	0,24	0,24	0,3	0,30	0,20
Степень рециркуляции дымовых газов через горелки, r_L %	"-	4	4	0	0	0
Температура за зоной активного горения. $T_{A.L}''$, К	По Руководящим указаниям "Проектирование топок с твердым шлакоудалени	1700	1700	1830	1960	1980

Расчитываемая величина	Формула или обоснование	БКЗ-210-140Ф		БКЗ-420-140-5	ТП-87	ТП-87
		до реконструкции	после реконструкции			
1	2	3	4	5	6	7
	ем"					
Отношение скоростей в выходном сечении горелок, W_2/W_1	Тепловой расчет котла или эксплуатационные данные	2,0	1,8	1,48	1,4	1,4
Присосы в топке $\Delta\alpha_T$ и третичное дутье $\Delta\alpha_3$	То же	0,10	0,10+0,17	0	0,10	0,10
Коэффициент избытка воздуха в зоне активного горения $\alpha_{A.G}''$	Формула (16)	1,17	1,00	1,2	1,15	1,15
Влияние коэффициента избытка воздуха в горелке β_{α_r}	Таблица 1	0,509	0,389	0,67	0,616	0,616
Влияние доли первичного воздуха β_{α_1}	То же	0,895	0,859	1,0	0,999	0,826
Влияние рециркуляции газов через горелки β_{r_T}	"-	0,968	0,968	1,0	1,0	1,0
Влияние температуры на образование топливных NO_x, β_g	"-	0,929	0,929	0,99	1,046	1,054
Влияние смесеобразования в корне факела β_{CM}	"-	1,49	1,294	1,196	1,104	1,104
Топливные оксиды азота, $K_{NO_2}^{TIII}$, г/МДж	Формула (13)	0,325	0,215	0,28	0,358	0,232
Воздушные оксиды азота,	Формула (15) или приложение Б	0,0	0,0	0,022	0,179	0,252

Рассчитываемая величина	Формула или обоснование	БКЗ-210-140Ф		БКЗ-420-140-5	ТП-87	ТП-87
		до реконструкции	после реконструкции			
1	2	3	4	5	6	7
$K_{NO_2}^{ВЗД}$, г/МДж						
Суммарное значение оксидов азота K_{NO_2} г/МДж	Формула (12)	0,325	0,215	0,302	0,537	0,484
Объем сухих газов при $\alpha = 1,4$	Формула (3)	6,95	6,94	5,71	9,34	8,25
Концентрация оксидов азота в дымовых газах C_{NO_2} г/м ³ , при нормальных условиях и $\alpha = 1,4$ без учета "подсветки"	Формула (11)	0,98	0,64	0,84	1,51	1,67
Доля газа (мазута) по теплу δ_i	Формула (38)	0	0	0	0,42 (газ)	0,10 (мазут)
Поправочный коэффициент на "подсветку" ψ_i	Формулы (36) и (37)	1	1	1	0,59	0,754
Концентрация оксидов азота с учетом "подсветки" угля газом (мазутом)	$C_{NO_2} \cdot \psi_i$	0,98	0,64	0,84	0,89	1,26

Примечание: коэффициент избытка воздуха, на который рассчитывается концентрация оксидов азота C_{NO_2} , принят равным $\alpha = 1,4$ (независимо от фактического избытка воздуха за котлом)

Примеры расчета концентрации оксидов азота.

В качестве примеров рассмотрены:

а) котел ТГМП-204 - на газе. На котле организовано ступенчатое сжигание отключением расхода газа на горелки третьего яруса. Газы рециркуляции поступают через горелочные устройства вокруг воздушного потока. Впрыск воды в топку осуществляется через горелки;

б) котел ТГМП-114 - на газе. На котле установлены трехпоточные горелки специальной конструкции, обеспечивающие стадийное сжигание с подачей части топлива в дымовые газы рециркуляции. Кроме того, на котле осуществлено ступенчатое сжигание. Вторичный воздух подается над горелками выше зоны активного горения. Газы рециркуляции вводятся в топку через горелки между воздушными потоками;

в) котел ТГМП-114 - на мазуте. На котле реализованы мероприятия, перечисленные в п. б), за исключением схемы двухступенчатого сжигания;

г) котел ТГМП-344 - на газе. На котле осуществлен режим ступенчатого сжигания с отключением по топливу четырех горелок верхнего яруса. Рециркуляция дымовых газов осуществляется через горелки в смеси с воздухом;

д) котел ТГМП-314П - на газе. На котле с подовым расположением горелок реализована схема двухступенчатого сжигания с подачей вторичного воздуха выше зоны активного горения. Газы рециркуляции вводятся в дутьевой воздух перед горелками;

е) котел ТГМЕ-464 - на газе. На котле выполнено перераспределение топлива по ярусам горелок и ввод рециркуляции дымовых газов в дутьевой воздух;

ж) котел БКЗ-320-140ГМ - на газе. На котле организована подача вторичного воздуха выше зоны активного горения и ввод дымовых газов рециркуляции в дутьевой воздух;

з) котел ПТВМ - 100 - на газе. На котле установлены двухпоточные горелки стадийного сжигания и выполнена схема двухступенчатого сжигания с подачей вторичного воздуха над горелками в пределах зоны активного горения.

Таблица Г1

Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Обозначение	Тип котла							
		ТГМП-204	ТГМП-114 (один корпус)		ТГМП-344	ТГМП-314П	ТГМЕ-464	БКЗ-320-140ГМ	ПТВМ-100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид топлива	-	газ	газ	мазут	газ	газ	газ	газ	газ
Номинальная производительность, кг/с	D_H	736	132	132	270	270	139	89	116 ^x
Фактическая паропроизводительность, кг/с	D	736	132	132	270	270	139	89	116 ^x
Теплота сгорания топлива, (МДж/кг)	Q_i	34,78	35,60	41,07	35,40	34,36	35,74	35,62	34,1

Наименование параметра	Обозначение	Тип котла							
		ТГМП-204	ТГМП-114 (один корпус)		ТГМП-344	ТГМП-314П	ТГМЕ-464	БКЗ-320-140ГМ	ПТВМ-100
Расход топлива на котел, м ³ /с (кг/с)	B_p	59,63	10,65	9,23	21,54	22,64	10,11	6,64	3,92
Доля топлива (или воздуха), поступающая через ярус от общего количества	q_i	$\frac{0,5}{0,5}$	1	1	$\frac{0,5}{0,5}$	-	$\frac{0,41}{0,59}$	$\frac{0,5}{0,5}$	1
Доля горелок в ярусе от общего количества	n_i	$\frac{0,5}{0,5}$	1	1	$\frac{0,5}{0,5}$	-	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$	1
Ширина топки, м	$a_{ТП}$	20,66	10,62	10,62	16,32	17,48	13,52	12,16	6,23
Глубина топки, м	$b_{ТП}$	10,26	6,13	6,13	8,47	8,72	7,68	5,44	5,23
Число ярусов горелок	$Z_{яр}$	2 ^{xx}	1	1	2	-	2	2	1
Расстояние между ярусами горелок, м	$h_{яр}$	3	3 ^{xxx}	3 ^{xxx}	2,7	10 ^{xxx}	2,6	3	3 ^{xxx}
Коэффициент, учитывающий степень выгорания топлива в факелах горелок в пределах з.а.г., зависящий от конструкции горелок	$\varphi_{Г}$	1	0,42	0,42	1	1	1	1	0,7
Температура воздуха перед горелками, К	T_B	620	520	548	560	610	590	520	30
Коэффициент избытка воздуха в топке	α	1,09	1,09	1,06	1,05	1,09	1,09	1,07	1,18
Степень рециркуляции дымовых газов, %	r	16	8	8	17	9	8	10	0
Показатель, зависящий от вида топлива	m	0,5	0,5	0,47	0,5	0,5	0,5	0,5	-
Коэффициент, зависящий от способа ввода рециркуляции газов	$a_{рец}$	0,14	0,19	0,19	0,16	0,16	0,16	0,16	-
Доля вторичного воздуха, %	δ	33	18	0	25	20	0	15	25
Коэффициент, зависящий от места ввода вторичного воздуха относительно з.а.г.	$a_{зг}$	0,01	0,01	-	0	0,01	-	0,01	0
Коэффициент, учитывающий способ подачи вторичного воздуха	$a_{ст}$	0,018	0,018	-	0,0165	0,018	-	0,018	0,018
Степень перераспределения	μ	0	0	0	0	0	18	0	0

Наименование параметра	Обозначение	Тип котла							
		ТГМП-204	ТГМП-114 (один корпус)		ТГМП-344	ТГМП-314П	ТГМЕ-464	БКЗ-320-140ГМ	ПТВМ-100
топлива по ярусам горелок (рассчитывается по формуле(I7)), %									
Коэффициент, учитывающий размещение горелок при перераспределении топлива или воздуха по ярусам	a_{HC}	-	-	-	-	-	0,016	-	-
Относительное количество влаги, вводимой в з. а. г., %	g	10	0	0	0	0	0	0	0
Коэффициент, учитывающий место ввода влаги	$a_{вл}$	0,025	-	-	-	-	-	-	-
Содержание связанного азота в топливе, %	N_r	-	-	0,55	-	-	-	-	-

^x Номинальная и фактическая теплопроизводительность, МВт

^{xx} Третий ярус использован для подачи вторичного воздуха

^{xxx} Принято по методике

Таблица Г2

Расчет концентрации оксидов азота

Рассчитываемая величина	Обозначение	Формула для определения	Тип котла							
			ТГМ П-204	ТГМП-114		ТГМ П-344	ТГМ П-314П	ТГМ Е-464	БКЗ-320-1401М	ПТВ М-100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тепловая нагрузка лучевоспринимающей поверхности з.а.г., МВт/м ²	$q_{ЛГ}$	(19)	3,01	1,91	1,91	1,60	1,03	0,96	0,76	0,14
Коэффициент, учитывающий тепловую мощность Заг	K_M	(24)	0,97	0,73	0,73	0,9	0,91	0,83	0,78	0,67
Исходная концентрация оксидов азота при сжигании газа, мг/м ³	$C_{NO_x}^{ИСХ}$	(20)	1568	368	-	837	572	491	376	336
Первая составляющая концентрации оксидов азота при сжигании мазута, мг/м ³	C'_{NO_x}	(22)	-	-	402	-	-	-	-	-
Вторая составляющая концентрации оксидов азота при сжигании мазута, мг/м ³	C''_{NO_x}	(23)	-	-	48	-	-	-	-	-
Исходная концентрация оксидов азота при сжигании мазута, мг/м ³	$C_{NO_x}^{ИСХ}$	(21)	-	-	450	-	-	-	-	-
Коэффициент, учитывающий температуру воздуха перед горелками	$K_{ГВ}$	(27)	1,0	0,90	0,93	0,94	0,99	0,97	0,90	0,68
Первый коэффициент, учитывающий избыток воздуха в топке, для газа и мазута	K'_α	(28)	1,35	1,35	1,25	1,20	1,35	1,35	1,29	1,18

Второй коэффициент учитывающий избыток воздуха в топке, для мазута	K_{α}	(29)	-	-	1,18	-	-	-	-	-
Коэффициент, учитывающий ввод рециркуляции дымовых газов	K_r	(30)	0,44	0,46	0,50	0,34	0,52	0,55	0,49	1
Коэффициент, учитывающий тепловую мощность Заг при ступенчатом сжигании	$K_{3Г}$	(31)	0,67	0,82	1	1	0,8	1	0,85	1
Коэффициент, учитывающий организацию схемы ступенчатого сжигания	$K_{СТ}$	(32)	0,41	0,68	1	0,58	0,64	1	0,73	0,55
Коэффициент, учитывающий нестехиометрическое сжигание по ярусам горелок	$K_{НС}$	(33)	1	1	1	1	1	0,71	1	1
Коэффициент, учитывающий подачу влаги	K_{6N}	(34)	0,75	1	1	1	1	1	1	1
Коэффициент, учитывающий действительную нагрузку котла	K_N	(35)	1	1	1	1	1	1	1	1
Расчетная концентрация оксидов азота на газе и на мазуте, мг/м ³	C_{NO_x}	(25)	200	117	266	186	208	251	136	148
Приведенная к $\alpha = 1,4$ концентрация NO_{X_3} в уходящих газах, мг/м ³	$C_{NO_x}^{пр} = C_{NO_x} \cdot \frac{\alpha}{1,4}$	(26)	156	91	201	140	162	196	104	125

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетика, тепловые электростанции, котлы паровые, котлы водогрейные, выбросы оксидов азота, проектирование, реконструкция

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Важной составной частью учебного процесса в вузе являются практические занятия.

Задачей преподавателя при проведении практических работ является побуждение студентов к самостоятельной работе, определения места изучаемой дисциплины в дальнейшей профессиональной работе будущего специалиста.

Прежде чем приступить к выполнению практической работы, студенту необходимо ознакомиться с теоретическим материалом, соответствующим данной теме, методиками расчетов, составить конспекты по изучаемой тематике.

Индивидуальные задания для практических работ представлены конкретно-практическими и творческими задачами.

На первой ступени изучения темы выполняются конкретно-практические задачи, при решении которых формируется минимальный набор умений. Преподаватель опосредованно руководит познавательной деятельностью студентов, консультирует и подробно разбирает со студентами возникшие затруднения в ходе решения задачи, обращает внимание группы на возможные ошибки.

Вторая ступень изучения темы дифференцируется в зависимости от степени усвоения его обязательного уровня. Студенты, усвоив содержание типовых методов и приемов решения теоретических задач, приступают к решению творческих задач. Если уровень знаний и умений, демонстрируемых студентом при контрольном обследовании, не соответствует установленным требованиям, студент вновь возвращается к стандартным упражнениям, но под более пристальным наблюдением преподавателя.

После изучения отдельной темы курса дисциплины, каждый студент получает оценку по результатам выполнения практических работ.

Пример прямого и обратного творческого занятия по дисциплине «Источники загрязнения среды обитания» выглядит в виде решения прямых и обратных комплексных задач, где студент после получения определенных знаний, умений и навыков в расчетах загрязнений по конкретной теме, самостоятельно составляет задачи для конкретных источников загрязнения среды обитания. Такие комплексные задачи подлежат защите на оценку.