*В. Н. БОЛЬШАКОВ, Н. В. МИКШЕВИЧ, О. Г. ПЕРЕДЕРИЙ*

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

МИНЦВЕТМЕТ
ВИПК
СССР

СВЕРДЛОВСК
1986

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВ И УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ
КАФЕДРА ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

*В. Н. БОЛЬШАКОВ, Н. В. МИКШЕВИЧ, О. Г. ПЕРЕДЕРИЙ*

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

СВЕРДЛОВСК
1986

В учебном пособии рассматриваются экологические аспекты деятельности предприятий цветной металлургии, приводятся основные понятия общей и прикладной экологии, характеристика технологических процессов и поведения характерных для отрасли загрязнителей в экосистемах. Обосновывается система мониторинга, перечисляются факторы, необходимые для оценки экологической ситуации, отмечается важность этой работы для рационального использования средств на охрану среды, а также раскрываются структуры природоохранных служб в отрасли и их задачи в оптимизации природопользования.

Пособие предназначено всем категориям слушателей Всесоюзного института, повышающих квалификацию на кафедре охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, изучающих курс «Экология и современные проблемы промышленного производства».

Пособие состоит из 7 разделов: 1-й раздел написан В. Н. Большаковым; разделы 2—5 — Н. В. Микшевичем; разделы 6, 7 — О. Г. Передерием.

Авторы: директор Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР, член-корреспондент АН СССР **В. Н. Большаков;** доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Всесоюзного института, канд. хим. наук **Н. В. Микшевич;** заведующий кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Всесоюзного института, канд. техн. наук **О. Г. Передерий.**

Рецензенты: доцент кафедры физико-химической технологии защиты биосферы Уральского лесотехнического института, канд. техн. наук **С. Б. Котлик**; заведующий лабораторией охраны воздушного бассейна института «Унипромедь», канд. техн. наук **Г. В. Скопов**

Ответственный за выпуск — канд. филос. наук **Г. Э. Бурбулис**

Печатается по плану Минвуза СССР на 1986 г.

© Издание ВИПК Минцветмета СССР

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития общества воздействие человека на природную среду достигло небывалых масштабов и вызвало к жизни проблему ее охраны. Свидетельством того, какое большое значение придается охране природы у нас в стране, служат решения Коммунистической партии и правительства Советского Союза, законы, принятые по этим вопросам, а также Конституция СССР (статьи 18 и 67). Поскольку именно природная среда всегда являлась и является для человека местом, средством и способом существования, необходимость ее охраны способствовала интенсивному развитию экологии, особенно ее разделов, связанных с антропогенными факторами. Это обстоятельство, в свою очередь, обусловило возможность создания научной основы для принятия решений, так как без фундаментальных экологических исследований нельзя дать оценку и прогноз состояния природной среды. Последнее важно, так как позволяет с максимальной эффективностью вести работу по охране окружающей среды и бережному использованию природных ресурсов, что предусмотрено Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, принятыми XXVII съездом Коммунистической партии Советского Союза.

В настоящее время по вопросам охраны окружающей среды и ее экологическим аспектам выпускается достаточно учебной литературы, однако она большей частью носит общий характер и не рассматривает проблему во взаимосвязи с конкретной отраслью производства. В данном учебном пособии предпринята попытка связать экологические аспекты природоохранной проблематики с цветной металлургией — отраслью, на предприятиях которой получают 74 элемента периодической системы Д. И. Менделеева, причем большая их часть относится к элементам, в значительной мере определяющим остроту ситуации как в настоящий момент, так и на ближайшее будущее.

## 1. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ

Слово «экология» происходит от греческого oikos — дом, жилище, местопребывание и logos — слово, учение; в большинстве случаев под экологией понимают науку о взаимоотношениях живого вещества с окружающей средой. Некоторые ученые считают ее межотраслевой дисциплиной, когда термином «экология» обозначается отношение любого изучаемого явления к окружающей среде, другие — биологической наукой. Существуют различные определения этой науки. Крупнейший советский эколог — академик С. С. Шварц считал, что экология — биологическая наука, которая имеет своей целью изучение законов, управляющих жизнью растений, животных и микроорганизмов в естественной среде обитания.

В «Проблемной записке» Научного совета АН СССР «Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира», в которой сделана попытка прогноза развития экологии животных до 2000 года, дано следующее определение экологии: «Современная экология — наука о закономерностях существования и развития надорганизменных биологических систем».

Как видно из этого определения, экологии в основе присущ системный подход. Любая система, в том числе и природная, представляет собой единое целое, состоящее из отдельных частей — взаимозависимых и взаимосвязанных между собой.

Большинство экологов считает, что объектами экологического изучения служат отдельные виды, видовые популяции и природные комплексы (биогеоценозы или экосистемы). В соответствии с этим в экологии различают: экологию видов, экологию популяций и биогеоценологию. Один из ведущих советских экологов профессор Н. П. Наумов (1963) сказал: «Подобно тому, как делал Иван Петрович Павлов в отношении физиологии, экологию животных можно уподобить трехэтажному зданию. Нижний этаж — это исследование реакций на среду единичных

особей, средний — экология населения популяций, верхний — экология сообществ растений и животных экосистем. Хотя это разделение условно, оно говорит довольно отчетливо какими проблемами занимается экология»[1]. Следует иметь в виду, что перечисленные направления не строго разграничены, а взаимно связаны, поскольку, например, даже при изучении отдельных видов приходится учитывать их внутривидовые и межвидовые связи с другими организмами.

При экологической оценке деятельности предприятий цветной металлургии необходимо учитывать как их воздействие на отдельные виды и популяции растений, животных и микроорганизмов, так и на биогеоценозы (экосистемы) и биосферу в целом. В экологии отдельных видов животных и растений, в их возможности приспосабливаться к влиянию новых антропогенных факторов в значительной степени следует искать причины исчезновения одних видов и процветания в резко изменившихся условиях других.

Легко приспосабливаются к новым условиям многие виды беспозвоночных животных, растений, микроорганизмы; причем зачастую к таким условиям, где, казалось бы, живые организмы существовать не могут. Исследования, проведенные в отвалах предприятий цветной металлургии, содержащих ядовитые для растений вещества, и на загазованных промышленных площадках металлургических заводов, показали, что практически всегда можно подобрать ассортимент дикорастущих растений, которые достаточно хорошо произрастают на таких территориях. Среди этих видов — представители семейств ивовых, злаковых и др.

В охране нуждаются, как правило, виды с небольшим ареалом, приспособленные к узким рамкам среды (стенобиотные виды), обладающие слабым потенциалом размножения. Популяция — это основная, а для высших организмов единственная форма существования вида. Практика ряда отраслей народного хозяйства и теоретический анализ однозначно свидетельствуют, что связанное с изменением среды антропогенного происхождения вымирание отдельных видов животных и растений, которое приводит или может привести к полному разрушению биогеоценоза, происходит не в результате непосредственной гибели организмов, а вследствие необратимого разрушения популяционной структуры.

---

[1] Наумов Н. П. Экология животных. — М.: Высшая школа, 1963. С. 7.

Все животные, растения, микроорганизмы на нашей планете находятся в тесной взаимосвязи между собой и окружающими их элементами неживой природы (воздух, вода и т. д.). Исследования экологов показали, что на поверхности Земли можно выделить участки, получившие название «биогеоценозы» (рис. 1).

Академик В. Н. Сукачев (1964) дал следующее определение понятия: «биогеоценоз — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира, ми-

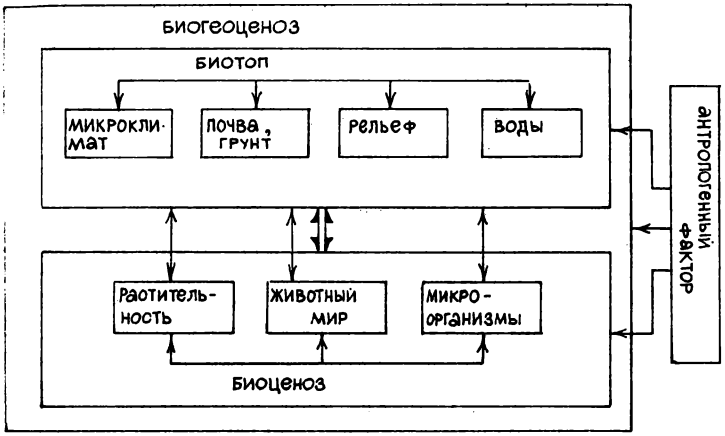


Рис. 1. Схема биогеоценоза по Г. А. Новикову.

ра микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющих свою особую специфику взаимодействия этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и с другими явлениями природы и представляющее собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии»[2]. Очень часто термины «биогеоценоз» и «экосистема» употребляют как синонимы. Это вполне справедливо, нужно только учесть, что экосистема — понятие более гибкое, но менее определенное в своих границах, тогда как биогеоценоз отличается большей четкостью в качестве территориальной единицы и определенной приуроченностью к территории. Говоря о биогеоценозах, особен-

[2] Сукачев В. Н. Основы лесной биогеоценологии. — М.: Наука, 1964. С. 263.

но важно подчеркнуть моменты, на которые указывал академик В. Н. Сукачев: принципиально важным свойством биогеоценоза, коренным образом отличающим его от простого скопления организмов, является наличие глубоких взаимных связей между всеми основными его компонентами, эти связи делают биогеоценоз качественно особой формой биологических макросистем; биогеоценоз представляет продукт длительного исторического развития, основным фактором которого был естественный отбор.

Биогеоценоз — не просто «сожительство» разных видов на некой общей территории. Входящие в него элементы объединены сложными связями и зависимостями, действующими и между непосредственно контактирующими видами, и опосредованно — через цепь видов, влияющих друг на друга. Поэтому изменения в одном звене этих связей приводят к сбоям, подчас катастрофическим, во многих других звеньях. Но в силу тех же самых причин весь биогеоценоз в целом обладает огромной защищенностью от любых изменений.

Любой биогеоценоз имеет в своей основе триаду: продуценты-консументы-редуценты. Начинают трофическую (пищевую) цепь экосистемы организмы, способные создавать органическое вещество, идущее на собственное жизнеобеспечение, — так называемые продуценты. В большинстве своем это зеленые растения (макро- и микроскопические), которые преобразуют солнечную энергию в энергию химических связей органических соединений (углеводородов, белков, жиров), создаваемых из минеральных веществ абиотической среды. Помимо нужд собственного жизнеобеспечения, часть органического вещества, созданного продуцентами, идет на удовлетворение пищевых нужд организмов, способных только к потреблению и преобразованию органики или так называемых консументов, которые в свою очередь делятся на иерархические группы: а) консументы первого порядка (растительноядные), питаются непосредственно растительной органикой (к ним следует отнести и паразитов растений, образующих свою пищевую цепь); б) консументы второго порядка (плотоядные), питаются консументами первого порядка; в) консументы третьего порядка (хищники, питающиеся хищниками), живут за счет консументов второго порядка.

Кроме того, в экосистемах существуют организмы, которые питаются мертвой органикой с предыдущих уровней (опад листа, ветки, стволы павших деревьев, экскременты, трупы),

разлагая ее и тем самым осуществляя ее постепенную минерализацию. Это так называемые биоредуценты (бактерии, грибы, животные, принадлежащие к разнообразным систематическим

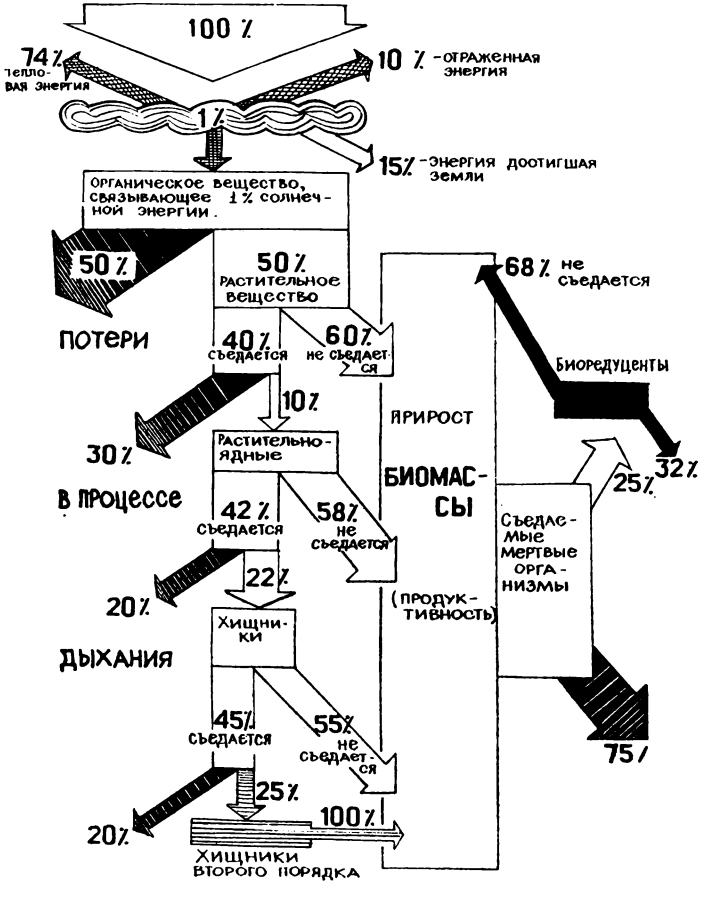


Рис. 2. Поток энергии в экосистеме.

группам), возвращающие исходное вещество на уровень продукции для повторного его использования в синтезе органики.

Трофические связи в экосистемах отражают продвижение, в конечном итоге, солнечной энергии, заключенной в виде энергии химических связей органических соединений (рис. 2).

Естественно, что переход энергии с одного уровня трофической цепи на другой сопровождается потерями (дыхание, мертвая органика), и лишь часть ее идет на удовлетворение пищевых нужд. Для энергетической характеристики экосистем используют следующие понятия. В массе организмов (биомассе) какого-либо уровня трофической цепи заключено определенное количество энергии химических связей. Его выражают или числом особей, или в единицах веса, или энергии (калориях). Под биомассой экосистемы понимают совокупность организмов в момент наблюдения. Скорость создания биомассы на каком-либо уровне или в системе называют продуктивностью.

Общее количество органического вещества, созданного за определенное время продуцентами (в том числе и вещества, расходуемого на дыхание), называют первичной валовой продуктивностью, а скорость создания (накопления) органического вещества определяют как чистую продукцию (это органическое вещество можно взвесить при уборке урожая). Под вторичной продуктивностью понимают биомассу, производимую консументами или биоредуцентами. Поскольку биологические вещества разной природы различны по энергетическим показателям, то продукцию (или поток энергии) выражают в калориях за единицу времени.

Экологическая эффективность природных систем определяется отношением величин ассимиляций данного уровня к предыдущему, она всегда невелика, поскольку живые организмы с большими потерями трансформируют поток энергии при передаче его в трофической цепи с одного уровня на другой.

В энергетическом отношении экосистему можно охарактеризовать экологической пирамидой, которая представляет собой прямоугольники, расположенные один над другим, причем их длина пропорциональна продуктивности каждого трофического уровня, а высота пирамиды (количество прямоугольников) соответствует длине пищевой цепи. Различают пирамиды чисел, которые отражают только число особей, пирамиды биомасс и энергии.

Все биогеоценозы Земли можно условно разделить на сложные и простые. Первые — это обычно многоярусные биогеоценозы, которые состоят из очень большого числа популяций многих видов растений, животных и микроорганизмов, связанных между собой сложнейшей сетью разнообразных пищевых и пространственных связей. Простые биогеоценозы состоят из ограниченного набора популяций относительно небольшого числа ви-

дов, и система межвидовых связей таких биогеоценозов относительно проста. Между крайними по сложности и обилию видов биогеоценозами тропического леса и каменистой пустыни или пещер существует огромное количество биогеоценозов разной степени сложности и видового разнообразия.

Все большее значение в биосфере приобретают агробиоценозы — искусственные сообщества, формирующиеся в результате растениеводческой и животноводческой деятельности человека. Агробиоценозы (агроэкосистемы) занимают в настоящее время в мире около 1,2 млрд. га, что составляет примерно 10% всей поверхности суши. С экологической точки зрения это наиболее простые и поэтому неустойчивые системы. Чем проще биогеоценоз, тем важнее и заметнее роль отдельных экологических доминантов — популяций видов, определяющих облик биогеоценоза и имеющих в сообществе важнейшее функциональное значение. В наиболее сложных биогеоценозах тропического леса трудно выделить доминирующие виды и популяции. В предельно простых искусственно созданных сельскохозяйственных ценозах экологические доминанты всегда очевидны. Изъятие доминирующего вида из состава таких биоценозов, как правило, полностью нарушает естественное функционирование биогеоценоза и ведет к его разрушению. Чем сложнее биогеоценоз, тем устойчивее к неблагоприятным воздействиям, чем проще, тем легче нарушается его работа, тем быстрее он разрушается при неблагоприятных воздействиях извне или в результате нарушения развития отдельных популяций в его составе. Например, вспышка численности какого-либо сельскохозяйственного вредителя, повреждающего доминантный вид в крайне простых сельскохозяйственных ценозах, неизбежно приведет, без вмешательства человека, к падению продуктивности биоценоза, глубокому нарушению его нормального функционирования и к полному разрушению.

Уничтожение любого вида в достаточно сложном биогеоценозе тропического леса не поведет к разрушению, а лишь вызовет перестройку межвидовых связей в составе этого сообщества. Однако это еще не означает, что резко нарушенный сложный биогеоценоз восстановится быстрее. Тропические леса Южного Вьетнама, погибшие в результате войны с США, потребуют для своего восстановления многие сотни лет, в то время как наша северная тайга, сообщество значительно более бедное видами, восстанавливается за десятки лет в несравненно худших климатических условиях.

Согласно представлениям экологов, достаточно нескольких десятилетий интенсивной эксплуатации тропического леса, чтобы стереть его с лица Земли, сделать восстановление совершенно невозможным. Наши леса эксплуатируются не только интенсивно, но и в течение многих десятков лет, и все-таки выстаивают. Причина в том, что основные питательные вещества в них сконцентрированы в почве; если лес гибнет, даже полностью, почвенное плодородие сохраняется и, следовательно, ничто не препятствует лесу возродиться в благоприятных условиях. В тропических лесах ситуация иная. Основные питательные вещества сконцентрированы не в почве, а в самих деревьях, и поэтому гибель леса сопровождается очень резким падением лесовосстановительных потенций данной территории. Этот пример лишний раз подчеркивает сложность взаимоотношений различных факторов в биогеоценозе, что необходимо учитывать в практической деятельности.

Простые биоценозы, как правило, очень нестойки по отношению к абиотическим факторам. Изменение какого-либо абиотического фактора (гидрорежима, химического состава или атмосферы, теплового режима), нарушающего обычную жизнедеятельность даже незначительной части видов простого биоценоза, иногда одного вида в его составе, может вызывать существенное нарушение деятельности такого биоценоза в целом, а нередко ведет и к полному его разрушению. Именно поэтому так опасны и губительны необдуманные или стихийные воздействия человека на природные комплексы. В этой связи становится понятной малая устойчивость по отношению к антропогенным воздействиям экосистем субарктических районов, характеризующихся низкой продуктивностью, обедненным видовым разнообразием биоценозов, находящихся на пределе по многим экологическим факторам. Это обстоятельство особенно важно при хозяйственном освоении северных районов. Первичная продуктивность различных экосистем зависит от их характера и колеблется от 3 г сухого органического вещества/год. м$^2$ в пустынях до 2200 г/год. м$^2$ в тропических лесах.

При рассмотрении процессов накопления биомассы на уровне консументов (вторичной продуктивности), кроме низкой эффективности, следует отметить их зависимость от вида пищевой цепи (так, для получения 1 кг говядины необходимо 80 кг травы, 1 кг форели — 5 кг мяса). Поэтому при переходе от одного трофического уровня к другому отношение биомасс может меняться. Продуктивность экосистем зависит от фазы их развития.

Действительно, процесс смены сообществ (сукцессия) заброшенного поля выглядит следующим образом: агроэкосистема — полудикая степь — древесные растения и кустарники — лес, занимая отрезок времени протяженностью до 100 лет (рис. 3).

В ходе сукцессии растительная биомасса увеличивается, но продуктивность системы проходит через максимум и к моменту зрелости (так называемому климаксному состоянию) уменьшается. Вид сукцессии, относящийся к пространству, в исходном состоянии лишенному жизни, называется первичным, тогда как в случае изменений, протекающих в развитом биоценозе, говорят о вторичной сукцессии. В настоящее время изучение сукцессий природных систем имеет важное практическое значение для

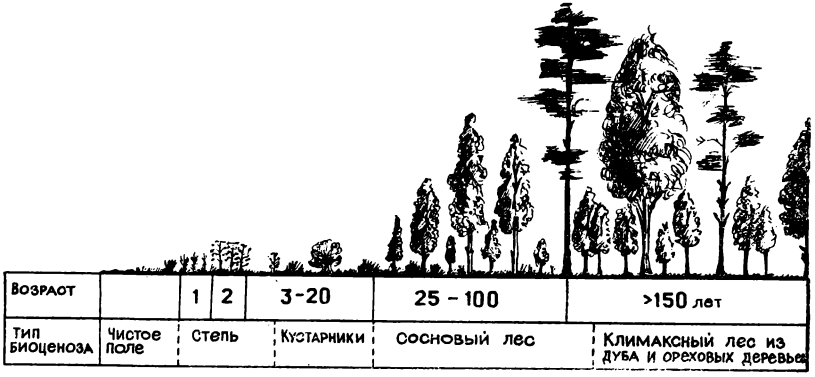


Рис. 3. Пример сукцессии: заселение заброшенного поля естественной растительностью.

прикладной экологии. Практически — это и влияние различных антропогенных воздействий на структуру развитых экосистем, и смена сообществ на рекультивированных территориях и др.

Все биогеоценозы суши и океана в своей совокупности составляют живую оболочку Земли — биосферу. Учение о биосфере, в окончательном виде сформулированное В. И. Вернадским, является краеугольным камнем экологии, поскольку Вернадский наряду с организмами рассматривает и среду их обитания, считая, что развитие биосферы в значительной мере определяется жизнедеятельностью организмов и что существует непрерывное взаимодействие всего живого с неорганическими условиями среды. Следовательно, живое вещество выступает в роли геологической силы, формирующей лик Земли, что обусловливает необходимость комплексного изучения всех компонентов биосферы (живых, косных и биокосных) в их неразрывном единстве.

Биосфера — это область распространения жизни на Земле, верхняя граница которой простирается до высоты 10—12 км, охватывая всю тропосферу и нижние слои стратосферы, а нижняя граница проходит по донным отложениям океанов (глубина свыше 10 км) и включает литосферу на глубину проникновения в нее организмов и воды в жидком состоянии (до 5 км). Энергетическим источником биосферы служит Солнце. Следовательно, биосфера представляет собой особую термодинамически открытую оболочку Земли, состояние которой обусловлено взаимодействием ее биотического и абиотического компонентов. Биотический компонент биосферы включает совокупности организмов и их остатки, абиотический — части атмосферы, гидросферы и литосферы, заселенные организмами и видоизменяемые их деятельностью.

Современная биосфера сформировалась в процессе длительной эволюции в результате действия различных факторов (космических, геофизических, геохимических), но решающая роль в ее происхождении принадлежит фактору биологическому, а именно появлению организмов, способных осуществлять процесс фотосинтеза, в результате чего из минеральных компонентов абиотической среды (углекислого газа, воды и других минеральных веществ), а также благодаря утилизации солнечной энергии, образуется органическое вещество, необходимое для жизнеобеспечения. Основную реакцию фотосинтеза можно записать в следующем виде:

$$n\,CO_2 + 2n\,H_2X + \text{солнечная энергия} \xrightarrow[\text{или другие пигменты}]{\text{хлорофилл}} n\,[(CH_2O)] + \frac{n}{2}X_2 + H_2X.$$

При $n=6$, а $X=0$, в случае синтеза на хлорофилле имеем:

$$6CO_2 + 12H_2O + 673\ \text{ккал.} \xrightarrow{\text{хлорофилл}} \underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2\uparrow + 6H_2O.$$

Появление хлорофиллоносных растений на суше сыграло решающую роль в изменении содержания кислорода в атмосфере Земли (практически весь кислород атмосферы обязан своим происхождением и постоянством содержания деятельности зе-

леных растений) и в процессе формирования почвы. Таким образом, в биосфере наличествуют процессы регуляции развития живой материи и один из основных — обмен веществом с окружающей средой. Элементы, необходимые для развития и существования, берутся организмами из окружающей среды, а затем по мере использования возвращаются обратно, замыкая тем самым круговорот вещества, причем эти циклы повторяются многократно. Благодаря этому за время, прошедшее с момента зарождения жизни на Земле (около 4 млрд. лет), все наружные слои земной коры на 99% переработаны различными организмами в процессе их жизнедеятельности, хотя растительная биомасса составляет $\sim$ 10 000, а животная $\sim$ 10 млрд. т, что соответствует приблизительно 0,01% массы всей биосферы. Продуктивность биосферы оценивается в $83 \cdot 10^9$ т сухого органического вещества в год ($30 \cdot 10^9$ т для океанов и $53 \cdot 10^9$ т для суши).

Многие биологи считают, что всего на Земном шаре обитает около 3-х миллионов видов живых существ. Но из них только 300 тыс. видов растений и некоторых автотрофных микроорганизмов создают первичную биомассу. Остальные виды организмов — гетеротрофы для своего питания используют готовые органические вещества. Соотношение животных и растений составляет на Земле примерно 79 и 21%, однако растения по весу составляют 97—98% всей биомассы суши и лишь 1—3% по весу приходится на биомассу животных и микроорганизмов.

Говоря о биосфере в целом, необходимо отметить ее чрезвычайную устойчивость к антропогенному воздействию, для которого в настоящее время характерны огромные масштабы и высокая интенсивность. Так, количество сжигаемого человеком кислорода, оцениваемое в $2 \cdot 10^{10}$ т/год, составляет от 12 до 23% от вырабатываемого биосферой, добывается горных пород около $10^{11}$ т/год, сведено около 70% лесов и продолжает вырубаться $\sim$ 20 га/мин (по некоторым оценкам до 44), истреблено около 400 видов животных, отмечено снижение биомассы биосферы в пределах $7 \div 25\%$, продуктивности экосистем суши на 20 и океана на 30%. Если говорить о таких опасных загрязнителях биосферы, как тяжелые металлы, то их техногенные потоки становятся соизмеримыми с количествами, естественно участвующими в биогенном круговороте веществ, а иногда и превышают последние (табл. 1.1), причем тенденция в ближайшем будущем только в сторону увеличения техногенных потоков (табл. 1.2).

## 2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Одной из причин, вызвавших обострение во взаимодействии человека современного общества с окружающей его природной средой, является развитие промышленного производства. Действительно, за последние 200—250 лет человек создал на Земле систему промышленного производства, основанную главным образом на технологических процессах, активно взаимодействующих с окружающей природной средой не только в плане потребления сырья и энергии, но и загрязнения ее различными отходами. Это обстоятельство было обусловлено причинами экономического и технического характера, поскольку до того момента, когда ущерб от загрязнения окружающей среды стал ощутимым явлением, считалось нецелесообразным увеличивать себестоимость готовой продукции за счет создания «чистых» технологий.

Основная масса существующих к настоящему времени технологических процессов в силу этого может быть отнесена к категории незамкнутых, то есть обменивающихся с окружающей средой потоками материальных и энергетических загрязнений (рис. 4а).

Поток обеспечения процесса исходным сырьем, энергией, а также поток готовой продукции при таком рассмотрении не принимаются во внимание. Замкнутый технологический процесс характеризуется обменом с окружающей средой только энергетическими загрязнениями (рис. 4б). Возможны также процессы, в результате которых получают лишь потоки готовой продукции. Они классифицируются как изолированные (рис. 4в).

Любой технологический процесс по степени своего воздействия на экосистемы может быть либо экологичным, либо неэкологичным. К первым следует отнести такие, которые не вызывают в экосистемах существенных изменений, ко вторым — оказы-

вающие на биотический или абиотический компоненты экосистем воздействие, приводящее в итоге к неблагоприятным последствиям. Действительно, если технологический процесс незамкнут, но в результате очистки потоков загрязнений его взаимодействие с окружающей средой минимизировано и не оказы-

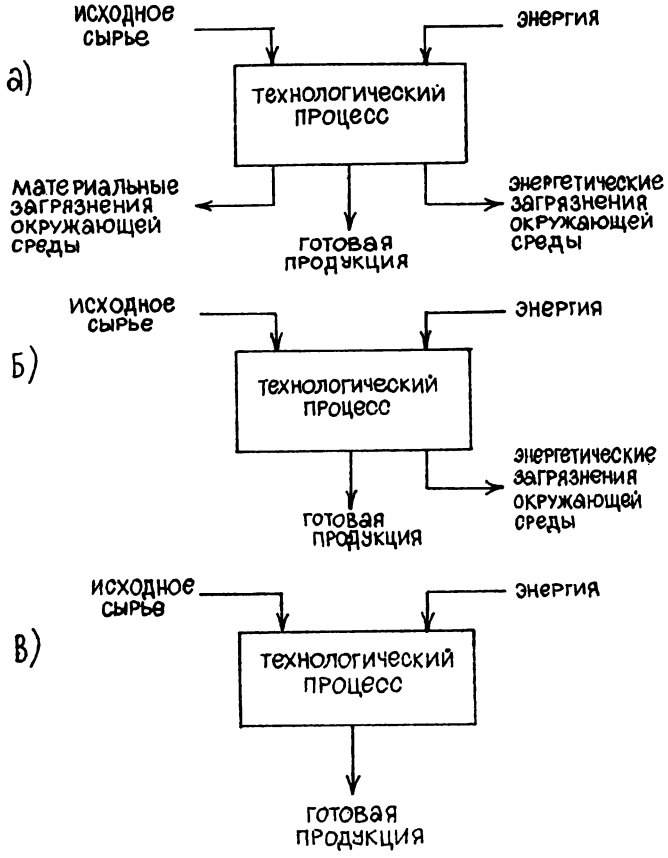


Рис. 4. Схема технологических процессов.

вает неблагоприятного воздействия, то несмотря на незамкнутость такую технологию можно считать экологичной. Напротив, иногда в случае изолированного процесса готовая продукция может служить опаснейшим источником неблагоприятного воздействия на экосистемы. Для замкнутого процесса его неэколо-

Таблица 1.1

**Участие тяжелых металлов в естественной и техногенной миграции в биосфере (порядок величин), тыс. т/год**

| Элемент | Общее количество элемента в растительности суши | Захват годовым приростом растительности суши | Эмиссии при сжигании каменного угля | Добыча (без СССР и соц. стран) $n \cdot 10^m$ | Рассеяно в биосфере в процессе получения с 1965 по 1975 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| Pb | 6300 | 430 | 20 | $10^3$ | 300 |
| As | 380 | 60 | — | $10^1$ | — |
| Hg | 31 | 2 | 0,5 | $10^0$ | — |
| Cd | 13 | 1 | 2,5 | 10 | — |

Таблица 1.2

**Поступление тяжелых металлов в окружающую среду в результате сжигания угля, тыс. т**

| Элемент | 1900 г. | 1970 г. | 1980 г. | 2000 г. (прогноз) |
|---|---|---|---|---|
| Pb | 5,0 | 13,0 | 27,5 | 43,6 |
| Hg | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,9 |

При всей масштабности загрязнения биосферы тяжелыми металлами и другими загрязнителями локальные превышения их техногенных потоков над естественными в зоне действия предприятий бывают столь велики, что вызывают зачастую в экосистемах явления катастрофического характера. В значительной мере это обстоятельство имеет отношение и к предприятиям цветной металлургии.

Обосновывая необходимость экологии человека как особой отрасли знания о взаимоотношениях общества с природой, С. С. Шварц говорил о неизбежности антропогенного изменения среды на огромных территориях. Одновременно он подчеркивал, что это не должно обозначать ухудшения качества среды и приводил примеры того, что деятельность человека отнюдь не всегда сопровождается подавлением функций элементов биосферы, а в ряде случаев ведет к сохранению и улучшению природных систем. «Биогеоценоз, явившийся результатом измененной человеком среды, совсем не обязательно хуже первоначального. Изменения природной среды, ее отход от естественного состояния нет никаких оснований непременно считать ухудшением. Во всей Западной Европе практически не осталось естест-

венных лесов. Современные лесные биогеоценозы Европы не обладают важными качествами естественных лесов, однако в известном смысле они даже лучше их — куда больше приспособлены к нынешним условиям жизни[3]. С. С. Шварц ставил вопрос о создании теории и стратегии преобразованного мира, то есть о выработке научных основ преобразующей деятельности человека, которые позволяли бы целесообразно и компетентно изменять среду и влиять на ее компоненты.

Академик В. И. Вернадский отмечал, что перед человеком, перед его мыслью и трудом становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободномыслящего человечества. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, есть ноосфера. Преобразование биосферы в ноосферу, сферу разума, требует от человечества большой осторожности и правильного научного подхода к ее преобразованиям.

---

[3] Шварц С. С. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование// Мир науки. — 1976. — № 2. С. 20.

гичность обусловливается высоким фоном энергетического загрязнения и его последствиями.

Применительно к материальным загрязнениям, поступающим в окружающую среду от технологий, понятие «экологичные» будет характеризовать такие потоки, которые либо инертны по отношению к различным организмам, либо содержат вещества, для которых в природе предусмотрены процессы утилизации в биогеохимических циклах (например, углекислый газ, сернистый ангидрид и др.), тогда как неэкологичные будут поставлять в природные среды соединения, служащие ядами для биоценозов. В общем случае емкость экосистем по отношению к экологичным загрязнителям выше, чем к неэкологичным. В данном случае под емкостью следует понимать способность экосистемы принимать потоки материальных загрязнений и обеспечивать нормальную жизнедеятельность (дыхание, питание, размножение и т. д.) определенному числу организмов или их сообществ без заметного нарушения самой системы.

Минимальные отрицательные эффекты в экосистемах будут наблюдаться в тех случаях, когда во взаимодействии с ними окажется технология высокой степени замкнутости, поставляющая экологичные загрязнения в количествах, соответствующих емкости систем. Таким образом, речь идет о согласовании производственной деятельности человека с законами природы, существующими и действующими независимо от нас. Это отдаленная задача человечества, а пока, в силу указанных в начале раздела причин, промышленное производство в подавляющем большинстве случаев основано на незамкнутых технологиях и, будучи неэкологичным, вызывает существенные нарушения природных систем и оказывает негативное воздействие на человека. В полной мере это относится и к цветной металлургии (табл. 2.1).

Действительно, при производстве цветных металлов в технологический цикл зачастую вовлекается сырье с низким содержанием ценных компонентов, осложненное наличием таких элементов, как мышьяк, что в совокупности с наличием в отрасли традиционно незамкнутых технологических процессов обусловливает образование значительных потоков веществ, загрязняющих окружающую среду. Несмотря на то, что удельный вес выбросов цветной металлургии сравнительно мал, природа загрязнителей и их высокая концентрация в отходящих потоках таковы, что они зачастую создают критические ситуации на значительных территориях, прилегающих к предприятиям, поскольку, начиная с исходного сырья и кончая готовой продукцией, в

отрасли имеют дело с 74 элементами периодической системы Д. И. Менделеева, многие из которых как в чистом виде, так и в виде различных соединений представляют опасность для окружающей среды. Так, среди наиболее опасных загрязнений, указанных в программе глобального мониторинга, принятой ООН, названы свинец, кадмий, ртуть, медь, олово, молибден, кобальт, никель, сурьма, мышьяк, селен — элементы, органически присущие цветной металлургии. Даже в случае биогенных элементов (то есть необходимых для существования живых организмов), например, таких, как сера, свойства выбрасываемых соединений, их концентрация и условия выброса (проценты $SO_2$ непосредственно в нижние слои атмосферного воздуха) оказывают поражающее действие на биоценозы и приводят к деградации экосистем. Если же говорить о таких элементах, как мышьяк, то на предприятиях цветной металлургии накоплено большое количество мышьяксодержащих отходов. Это арсенатные кальциевые осадки, мышьяково-кальциевые гранулы после очистки серы от мышьяка, шламы сернокислотного производства, шлакоштейн электропечей, пиритный огарок, шлак мышьяково - сурьмянистый, клинкер, шлаки отражательных печей от переработки окислов первичного щелочного рафинирования, сульфидные и смешанные мышьяксодержащие хвосты, шпейза отвальная в количестве 7 481 500 т со средним содержанием мышьяка 5%.

Таблица 2.1

**Удельный вес выбросов в атмосферу**

| Отрасль | Удельный вес, % |
|---|---|
| Теплоэнергетика . . . | 27 |
| Черная металлургия . . | 24 |
| Нефтехимия . . . . . | 15 |
| Автотранспорт . . . . | 13 |
| Цветная металлургия . | 10,5 |
| Промышленность стройматериалов . . . . . | 8 |
| Химическая промышленность . . . . . | 1,3 |

Таблица 2.2

**Поступление мышьяка от предприятий цветной металлургии в окружающую среду**

| Вид отходов | Доля, % |
|---|---|
| Хвосты обогащения . . | 74 |
| Выбросы в атмосферу | 9,0 |
| Отвальные и условно-отвальные продукты . . | 16,5 |
| Прочие . . . . . | 0,5 |

Если принять поступление мышьяка с сырьем за 100%, то по категориям выбросов он распределяется следующим образом (табл. 2.2).

Загрязнение атмосферного воздуха. Цветная металлургия является поставщиком как распространенных примесей (пыль, окислы углерода и азота, сернистый газ, бенз/а/пирен и др.), так и специфичных для отрасли (газообразные соединения фтора, аэрозоли, содержащие фтор, тяжелые металлы и др).

На предприятиях медной, никелевой и свинцово-цинковой подотраслей получение черновых металлов ведется из сульфидных минералов. В процессе обжига рудных концентратов в металлургических печах удаляется значительное количество серы, преимущественно в виде сернистого ангидрида (иногда в виде сероводорода). С отходящими газами от технологического оборудования поступают также продукты сгорания топлива (окислы углерода и азота) и пыль, содержащая рудные компоненты, в том числе легколетучие.

В процессе конвертирования также выделяются сернистый газ, пыль и летучие соединения. Концентрация газообразных соединений в отходящих потоках, и главным образом $SO_2$, зависит от конкретного исполнения пирометаллургического передела. Так, содержание сернистого ангидрида в газах шахтных печей достигает 10, в отражательных обычно находится в пределах 0,7—1,5%. Концентрация $SO_2$ в конвертерных газах составляет 3—5%. Интенсификация пирометаллургических процессов, в частности использование кислородного дутья, уменьшает объем отходящих газов и повышает в них концентрацию сернистого ангидрида.

Внедряемые в отрасли автогенные процессы (кислородно-факельная плавка, плавка в жидкой ванне) дают максимально концентрированные по $SO_2$ потоки отходящих газов, содержащие также и значительное количество пыли. При кислородно-факельной плавке (КФП) медно-цинковой шихты в отходящих газах содержится 60—80% $SO_2$. Газы с содержанием сернистого ангидрида 2,5—3% и выше идут на производство серной кислоты, а менее концентрированные (при наличии серно-кислотного производства) доукрепляются сжиганием элементарной серы или смешением с концентрированными газами, например от КФП. В этой связи следует отметить, что серно-кислотное производство (или иногда получение элементарной серы из отходящих газов) выполняет функции природоохранной технологии.

Поскольку пыль от пирометаллургических процессов представляет собой не только загрязнитель, но, и это главное,

продукт, содержащий ценные компоненты, то обычно предусмотрено ее улавливание. Помимо этого необходимо удалять пыль из газа при передаче его серно-кислотному переделу. Улавливание пыли осуществляется с высокой эффективностью в различных устройствах, но, даже при их наличии и высокоэффективной работе, значительные количества пыли поступают в атмосферный воздух вследствие огромной мощности предприятий. Даже при кислородно-факельной плавке, с высокой эффективностью очистки газов от пыли (до 99,9%), в окружающую среду поступают Pb, Cd, Sb, As, Te, Bi, Se, тем более, что такие элементы, как As, Te, Bi и Se из-за высокой летучести их соединений не конденсируются в пылеочистных устройствах.

Таким образом, технологические процессы получения меди, никеля, свинца и цинка поставляют в атмосферный воздух потоки $SO_2$ с концентрацией, достигающей иногда 8—10%, особенно на старых предприятиях, практически не имеющих пылегазоочистного оборудования и серно-кислотного производства, а также в случае аварийных ситуаций и ремонтов. Обычно же концентрация сернистого ангидрида в неутилизируемых отходящих газах колеблется от десятых долей до единиц процентов. Эти же газы содержат тяжелые металлы в виде сульфидов и окислов, а также легколетучих соединений. Такие пылегазовые выбросы в атмосферу осуществляются, как правило, через дымовые трубы различной высоты, а меньшая их часть попадает в воздух в виде фонарных и вентиляционных газов.

Специфичностью отличаются и выбросы предприятий алюминиевой подотрасли. Помимо окислов азота и углерода, сернистого ангидрида в недостаточных для его утилизации концентрациях, эти предприятия поставляют в атмосферу газообразные соединения фтора и его твердые аэрозоли, образующиеся как при производстве фторсолей и плавиковой кислоты, так и в процессе электролитического получения металлического алюминия. Электроды, работающие при высоких температурах, служат источниками образования смолистых веществ, содержащих канцерогенные соединения, в том числе и бенз/α/пирен. Значительные количества этих загрязнителей поставляют в атмосферный воздух и электродные предприятия. Кроме того, указанные производства выбрасывают значительные количества нетоксичной пыли (цемент, глинозем и др.). Несмотря на наличие пылегазоочистного оборудования, перечисленные выше соединения и вещества в значительных количествах попадают в ок-

ружающую среду. Причины этого кроются как в самой технологии (например, при электролизе алюминия значительная часть выбросов из рабочей зоны попадает в атмосферу через аэрационные фонари), так и в том, что при огромных мощностях предприятий выбросы, даже после эффективной очистки, значительны. Определять же взаимодействие предприятий подотрасли с природной средой будут, главным образом, газообразные соединения фтора и фторсодержащие аэрозоли.

Хлор и его соединения поставляют в атмосферу титано-магниевые и некоторые другие предприятия.

Таблица 2.3

**Динамика водопотребления и водоотведения по Минцветмету СССР**

| Показатели | Значения показателей, млн. м³ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1975 г. | 1980 г. | 1983 г. | 1985 г. (проект) |
| Общий объем потребления воды | 8777 | 10342 | 12099 | 12369 |
| В том числе на технологические нужды: | 8410 | 9884 | 11641 | 11804 |
| свежей | 2676 | 2438 | 2214 | 2196 |
| оборотной | 4943 | 6670 | 8694 | 8996 |
| последовательно используемой | 791 | 776 | 773 | 612 |
| Процент водооборота | 68,2 | 75,7 | 81,1 | 81,4 |
| Водоотведение | 2794 | 2728 | 2583 | 2634 |
| в том числе сброс воды в поверхностные водоемы: | 2704 | 2654 | 2294 | 2372 |
| нормативно-чистой | 477 | 490 | 570 | 475 |
| загрязненной | 972 | 1078 | 881 | 702 |
| Нормативно-очищенной на очистных сооружениях | 1255 | 986 | 844 | 1196 |

Загрязнение поверхностных вод. Цветная металлургия потребляет 17% общего количества используемой промышленностью воды, и по этому показателю находится на втором месте после черной металлургии (24%). Несмотря на то, что в 1984 г. удельный вес водооборота в отрасли составил 81,1%, в поверхностные водоемы еще сбрасывается значительное количество загрязненных вод от различных предприятий и технологических процессов (данные водопотребления и водоотведения приведены в табл 2.3).

Это и шахтные воды, содержащие взвешенные частицы различной природы — анионы $Cl^-$ и $SO_4^{2-}$ и катионы таких металлов, как Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Fe; и стоки обогатительных фабрик (главным образом хвостовые стоки и сливы сгустителей), содержащие взвешенные вещества, флотореагенты и нефтепродукты, а также катионы различных металлов, в том числе ртути; и такие анионы, как $CN^-$, $AsO_4^{3-}$, $SO_4^{2-}$, $S_2O_7^{2-}$ и др.

Непосредственно на металлургических предприятиях образуются стоки, содержащие взвешенные вещества, различные кислоты, катионы цветных металлов, мышьяк, фтор и другие элементы.

Загрязнение почвы и ее потери. Масштабы воздействия цветной металлургии на земельные ресурсы весьма значительны: площади земель изъяты под карьеры и отвалы открытых горных работ, подземные разработки, хвостохранилища. Предприятиями цветной металлургии нарушено более 250 тыс. га земель. Основная доля нарушенных земель приходится на золотодобывающую, медную и никель-кобальтовую подотрасли. Особенности сырья (низкое содержание ценных компонентов и значительные количества токсичных элементов и их соединений) обусловили высокий выход отходов на единицу продукции и их токсичность. В силу этих обстоятельств под отвалами не только теряются значительные площади, но они еще и служат источником токсичных элементов, в частности таких, как мышьяк, никель, медь и др.

Отметим наиболее характерные из загрязнителей, поставляемых предприятиями отрасли в окружающую среду и оказывающих на нее негативное воздействие.

Сернистый ангидрид ($SO_2$). Отличительная особенность — распространенность в биосфере, поскольку сера является элементом, необходимым для нормальной жизнедеятельности всех видов растений и животных, участвуя в биогенном круговороте веществ и образуя биогеохимический цикл. Фоновая концентрация сернистого ангидрида в воздухе, измеренная в незагрязненных районах, составляет — $6 \cdot 10^{-3}$ мг/м$^3$. Участие этого загрязнителя в биогенном круговороте обусловило сравнительно небольшой период его выведения (время, в течение которого вещество находится в атмосфере до полного обезвреживания либо в результате адсорбции земной поверхностью, либо в результате взаимодействия в атмосфере), равный 4 дням. Для $SO_2$ характерны реакции окисления и взаимодействия с влагой, проте-

кающие в атмосферном воздухе и ведущие к образованию «кислых» осадков:

$$SO_2^{газ} + \frac{1}{2} O_2 = SO_3^{газ}, \quad SO_3^{газ} + H_2O = H_2SO_4,$$

$$SO_2^{газ} + H_2O = SO_2^{вода},$$

$$SO_2^{вода} + H_2O = H_2SO_3.$$

Несмотря на постоянное наличие сернистого ангидрида в атмосферном воздухе, повышенные его концентрации оказывают отрицательное действие на экосистемы, выражающееся в закислении почв и воды пресных водоемов, гибели растительности в результате непосредственного воздействия на нее $SO_2$, прямом токсическом действии на человека и животных. Бесцветный с резким запахом газ действует на органы дыхания человека и животных и повреждает ассимиляционный аппарат растений. Отмечено, что концентрации сернистого ангидрида свыше 0,4 мг/м$^3$, даже при кратковременном воздействии, могут вызвать тяжелые нарушения органов ассимиляции у хвойных деревьев; повреждения растений меньшей степени наблюдают при максимально-разовых концентрациях 0,02 мг/м$^3$, что ниже аналогичного показателя для человека ($ПДК_{20'}^{разов.}$ для человека = 0,15 мг/м$^3$).

Растительные организмы, для которых обменные процессы с атмосферным воздухом определяют поддержание жизнедеятельности (мхи, лишайники), могут существовать при концентрации сернистого газа в воздухе менее 0,005 мг/м$^3$ (в зависимости от вида). Лиственные деревья в условиях Севера могут существовать при концентрациях 0,05÷0,07 мг/м$^3$, что соответствует среднесуточной ПДК для жилой зоны (0,05). В этих же условиях требования к качеству воздуха для кустарников несколько ниже (0,05 мг/м$^3$). Необходимо отметить, что хроническое действие $SO_2$ на растения в экологическом плане приводит к снижению их продуктивности, перестройке структуры растительных сообществ со всеми вытекающими отсюда последствиями, но повышенное содержание серы в растительной биомассе не вызывает отрицательных эффектов у консументов. Наиболее характерно хроническое действие на экосистемы «малых» концентраций сернистого ангидрида и выпадение кислых атмосферных осадков.

Фтористый водород (HF). По сравнению с другими загрязнителями атмосферы фтористый водород и другие газообразные соединения фтора ($SiF_4$, $H_2SiF_6$, $F_2$) обладают повышенной токсичностью и спецификой воздействия в экологическом плане. Токсичность фтора связана исключительно с непосредственным воздействием его газообразных соединений на надземные части растений. В отличие от таких элементов, как сера и хлор, также входящих в состав фитотоксичных газов, фтор не является элементом, необходимым для развития большинства растений, поэтому в растительных клетках не происходит его детоксикации, и он выступает в роли накапливающегося яда. В то же время для млекопитающих (животных и человека) фтор является элементом, необходимым для нормальной жизнедеятельности, но уровень потребности в нем ограничен пределом, превышение которого приводит к развитию флюороза. Учитывая, что фтор в организм животных поступает преимущественно с водой и пищей, наличие в воздухе газообразных соединений этого элемента будет оказывать не только поражающее действие на растения, но и вызывать специфические эффекты при продвижении по пищевой цепочке.

Если говорить о других фторсодержащих загрязнителях атмосферы, то к ним относятся аэрозольные частицы, которые, загрязняя растения, также увеличивают поток этого элемента в трофической цепи, вызывая тем самым нежелательные эффекты как в природных биоценозах, так и в агросистемах.

Хлор и хлористый водород ($Cl_2$, HCl). Это достаточно распространенные загрязнители атмосферного воздуха, хотя величины их валовых выбросов меньше, чем у сернистого ангидрида и газообразных соединений фтора. Хлор, как и сера, широко распространен в биосфере, относится к питательным веществам растений, но потребности в нем находятся на уровне микроэлементов и полностью удовлетворяются за счет естественного содержания хлоридов в воздухе и осадках. Фоновое содержание хлоридов в воздухе колеблется в зависимости от расстояния до океана — основного поставщика хлорсодержащих аэрозолей в атмосферу — на уровне $0{,}1 \div 100$ мг/м$^3$.

Благодаря своим физическим и химическим свойствам (высокой плотности, хорошей растворимости в воде с образованием кислот), пары $Cl_2$ и HCl быстро оседают на земную поверхность. В связи с этим действие, оказываемое ими на растительность, проявляется только вблизи источников выброса. Повреждающее действие HCl и $Cl_2$ связано с поступлением в листья

растений через устьица и нарушением физиологических процессов, первоначально выражающееся в снижении прироста биомассы, а при более глубоком поражении — в четко выраженном отмирании кончиков и кромок листьев вследствие направленного движения влаги. Накопление загрязнителя происходит главным образом в листьях, но в отличие от фтора это не приводит к нежелательным эффектам при продвижении его по пищевой цепочке. Для умеренной климатической зоны отмечают следующие допустимые пределы концентрации в воздухе: при долговременном воздействии — 0,1, кратковременном — 0,2 мг/м$^3$.

Действие газообразных загрязнителей на растения в значительной мере определяет благополучие всей экосистемы. Действительно, первичные эффекты у хвойных деревьев вызывают целую цепочку превращений в экосистеме: замедление роста хвои → уплощение лесного полога → постепенное изреживание древостоев вследствие иссушения → распад насаждения в целом со всеми вытекающими отсюда последствиями для экосистемы. Существует видовая специфичность в чувствительности растений к действию газообразных загрязнителей воздуха, что обусловлено генетическими факторами. В связи с этим растения делятся на группы устойчивости (очень чувствительные, чувствительные и устойчивые) по отношению к различным газам. В то же время эффект воздействия последних в значительной мере определяется такими факторами, как освещенность, температура, влажность, свойства почвы, стадия развития самого растения и возраст листьев. Так, поражающее действие газов на растение может снижаться в период ограниченной физиологической активности растений (ночь, зима), ложной устойчивости (смыкание устьиц) или усиливаться за счет высокой относительной влажности воздуха, в тумане вследствие расширения устьиц, при наличии других вредных веществ, в том числе синергетиков, при действии других неблагоприятных факторов (мороз, жара); в стадии развития, соответствующей активности органов ассимиляции. Эти обстоятельства в экстремальных условиях необходимо учитывать как для растений, так и для источников выбросов.

Аэрозольные загрязнения атмосферы. Спектр действия этих загрязнителей на экосистемы чрезвычайно широк в силу разнообразия свойств (физических и химических) самих аэрозолей, возможности их воздействия за счет процессов переноса практически на любые звенья природных систем, также характеризующихся определенными видовыми, возрастными и

другими особенностями. Например, осаждение даже нетоксичной пыли на растительный покров влияет на продуктивность самих растений из-за экранирования листа, нарушения его температурного режима, процессов газообмена и др. Помимо этого происходит снижение ценности сельскохозяйственных культур, а в случае загрязнения кормовых угодий — уменьшается потребление корма сельскохозяйственными животными, что вызывает снижение их продуктивности и приводит к физиологическим нарушениям в организме. Хронические выпадения пыли вызывают изменения структуры почвы и, в итоге, снижение ее плодородия. Однако абсолютно нетоксичной пыли нет, особенно в такой отрасли, как цветная металлургия. Даже цементная пыль вызывает вышеуказанные нарушения, тогда как пыль, выбрасываемая в атмосферу свинцовыми, цинковыми, медеплавильными, никелевыми, алюминиевыми и другими заводами, содержит вещества (мышьяк, свинец, кадмий, никель, цинк, медь, фтор и др.), которые в значительной мере усугубляют ситуацию. В этом случае необходимо учитывать как поражающее действие токсиканта при его продвижении по пищевой цепочке, так и процессы, протекающие с его участием в почвенном слое. Токсическое действие, оказываемое названными элементами на почвенные организмы, приводит к уменьшению их численности, а следовательно, изменению структуры почвы, снижению ее плодородия и к разрушению почвенного слоя в результате ветровой и водной эрозии. В случае хронического загрязнения эти процессы протекают параллельно с накоплением токсикантов в почве, которое зависит от ее свойств, свойств подстилающего слоя и гидрологического режима местности. При высоких уровнях накопления загрязнителя возможно, даже после прекращения выпадений из атмосферы, значительное усвоение его растениями за счет корневой системы.

Практически невозможно рассмотреть все многообразие воздействия загрязнителей атмосферы на экосистемы и отдельные их компоненты, однако в конкретных ситуациях необходимо учитывать двустороннее взаимодействие «источник ↔ экосистема» в целях минимизации ущерба. Например, важна не просто запыленность растительного материала, а содержание пыли на момент использования, что в какой-то мере можно регулировать. В случае высокого содержания в почве тяжелых металлов можно снизить их накопление растительностью путем внесения удобрений, проведения технических мероприятий, сопровождающихся повышенными выбросами газа в атмосферу в периоды

максимальной устойчивости растений и с учетом метеоусловий и др.

Загрязнители гидросферы. Спектр веществ, поставляемых предприятиями цветной металлургии в поверхностные пресные воды чрезвычайно широк и ограничен, с одной стороны, такими загрязнителями, как нетоксичные взвешенные вещества, хозбытовая органика, а с другой — такими токсичными элементами и соединениями, как мышьяк, свинец, ртуть, кадмий, цианиды и др. Даже, казалось бы, нетоксичные загрязнители, например, взвешенные вещества оказывают существенное влияние на состояние водной экосистемы, покрывая слоем донные отложения и водоросли, снижая прозрачность воды, оказывая тем самым влияние на тепловой режим и уровень освещенности, и в конечном итоге отпугивая многих обитателей водных систем, в частности проходных рыб.

Первичное поражающее действие связано с влиянием загрязнителя на различные организмы, в том числе и сухопутные, непосредственно из водной среды. В целях его предотвращения устанавливаются предельно допустимые концентрации вредных веществ, учитывающие характер взаимоотношения организма с водной средой: для водоемов санитарно-бытового назначения — исходя из средней физиологической нормы водопотребления человека — 2—2,5 литра/сутки, для водоемов рыбохозяйственного назначения — исходя из того, что вода в данном случае является средой обитания охраняемых животных, в силу чего в последнем случае требования к воде бывают более жесткие. Однако в экологическом плане необходимо учитывать поведение загрязнителя в водной системе в целом. Например, известно, что тяжелые металлы в значительных количествах могут накапливаться водными растениями. Это создает опасность для последующих звеньев кормовой цепи. А такой элемент, как ртуть, поступая в воду в виде неорганических соединений, переводится бактериями в метилированные формы и, хорошо проникая в таком виде через биологические мембраны, постоянно повышает свою концентрацию при продвижении по пищевым цепочкам, в результате чего в вершине экологической пирамиды водной экосистемы (виды хищных рыб), форма нахождения токсиканта и его концентрация могут представлять опасность для потребителя (человека). Таким образом, защитная реакция микробного сообщества вызывает далеко идущие экологические последствия. Наряду с ртутью мышьяк, свинец и селен являются наиболее важными элементами, которые могут быть метили-

рованы. При рассмотрении поведения загрязнителей в водной среде существенным моментом является их фиксация донными отложениями, способствующая как очищению воды, так и повышенному накоплению этих элементов организмами, особенно малоподвижными, обитающими в придонных слоях воды.

Загрязнители литосферы (почвы). В цветной металлургии потоки вещества, воздействующие на почву в результате различных технологических процессов, главным образом вызывают ее потери. Действительно, это отвалы пустой породы, шлакоотвалы, отработанные карты хвостохранилищ и т. п. В качественном отношении для них характерно повышенное содержание токсичных элементов (As, Cu, Ni и т. д.), в силу чего осложнены процессы почвообразования, а при биологической рекультивации наблюдается повышенное содержание вышеуказанных загрязнителей в надземной части растений, что в ряде случаев делает невозможным использование рекультивированных площадей в сельском хозяйстве.

Необходимо отметить такую особенность литосферы, как способность к кумуляции загрязнителей, однако в зависимости от свойств почвы, подстилающих пород, уровня загрязнения, гидрологического режима территории и свойств загрязнителя возможна его миграция с последующим воздействием на другие компоненты экосистем.

---

## 3. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В ЭКОСИСТЕМАХ

Как отмечалось ранее (разд. 1), в экосистемах различного масштаба, в том числе и в биосфере, все компоненты связаны между собой потоками вещества и энергии, что обеспечивает цикличность процессов, устойчивость экосистем во времени и по отношению к воздействию различных факторов, постоянно высокое качество природных сред и т. д. Однако эти же самые процессы способствуют и распространению материальных загрязнителей со всеми вытекающими для экосистем последствиями.

Действительно, загрязняющие вещества первоначально попадают в какую-либо биокосную среду (воздух, вода, почва) и лишь в результате процессов переноса распространяются по всем компонентам природных систем. Эффекты, вызываемые ими в биоценозе в результате воздействия непосредственно из той абиотической среды, в которую осуществляется выброс, можно отнести к первичным, тогда как влияние на биоту из других косных сред, в которые загрязнитель попал в результате процессов переноса, — ко вторичному.

Перенос из атмосферы. Рассмотрение процессов распространения загрязнений в атмосфере не входит в наши задачи. Отметим лишь, что они сложны и зависят от многих факторов: природы загрязнителей, количественной и качественной характеристики выброса — температуры, скорости, потока, высоты выброса; метеоусловий — направления и скорости ветра, температуры воздуха, облачности, рельефа местности и т. п. Оценим лишь возможные последствия для экосистем, возникающие в результате воздействия загрязнителей атмосферы.

Первичные эффекты для таких газообразных загрязнителей, как $SO_2$, HCl, $CCl_2$, HF, связаны главным образом с воздействием на уровень продуцентов и выражаются сначала в снижении их продуктивности с последующим упрощением, а затем и распадом всей структуры биоценоза. Высокой чувствительностью отличаются хвойные деревья, особенно сосна. Так, потери прироста 20% у хвойных отмечены при содержании $SO_2$ в воздухе

от 0,015 до 0,035 мг/м$^3$, в Польше из-за загрязнения атмосферного воздуха на территории 40 тыс. га потери прироста древесины оцениваются в 130 тыс. м$^3$, а в США ущерб промышленному лесоводству от одних газообразных загрязнителей атмосферы составляет 26 млн. долл./год. В случаях острого воздействия газообразных загрязнителей атмосферы возможно полное уничтожение не только растительного покрова, но и всего биоценоза на значительных территориях, что часто наблюдается вблизи металлургических предприятий. Как отмечалось ранее, необходимо учитывать, что соединения фтора в отличие от других газообразных загрязнителей представляют в экологическом отношении большую опасность, поскольку накопление их в растительном материале небезопасно для цепочки его потребителей.

При оценке последствий воздействия токсичных газов на уровень продуцентов необходимо иметь в виду, что лесные ценозы в сравнении с травянистыми и кустарниковыми способны к более быстрому и большему поглощению углекислоты и регуляции температуры, что влияет на климатические условия как в микро-, так и в глобальных масштабах.

Из вторичных эффектов воздействия на экосистемы газообразных загрязнителей атмосферы как наиболее важные отметим закисление озер и почв в результате выпадения кислых осадков, образующихся при трансформации сернистого газа в атмосферном воздухе. В водной среде по мере исчерпания буферной емкости водоема его вода начинает закисляться, что сначала приводит к падению в ней содержания кальция и гибели некоторых земноводных (pH$<$7). При pH 6,6 начинают погибать улитки, а при pH 6 — пресноводные креветки и икра остальных земноводных. При падении pH с 6 до 5,5 быстро сокращается численность и видовое разнообразие водной фауны. Гибель микроорганизмов, разлагающих органику, приводит к скапливанию на дне озер органических остатков. Гибнет планктон — основание пищевой пирамиды в водной экосистеме. Нарушенное кальциевое равновесие в системе «вода—водные организмы» у одних рыб влияет на перенос ионов через жаберные мембраны, у других — приводит к потере способности образовывать икру.

Повышенная кислотность воды способствует выщелачиванию из донных осадков и окружающих почв токсичных металлов (As, Hg, Cd, Sn, Be, Ni и др.), которые зачастую оказываются более опасными, чем высокая кислотность среды. Так, многие рыбы способны выжить в воде с pH 5,9, но в присутствии алюминия погибают от вызываемых им повреждений жабер.

Ртуть при pH<6 переходит в органическую форму, легко проникает в таком виде в организм рыб, отравляя их самих и тех, кто ими питается. При pH 5,5 кислотолюбивые мхи, грибы и нитчатые водоросли заглушают почти всю водную растительность. При pH 4,5 рыбы в озере не остается, гибнут лягушки и многие насекомые. Вода в озере прозрачна, так как в ней вымерли все микроорганизмы и попадающая органика нетронутой оседает на дно. Сухопутный мох — сфагнум хорошо чувствует себя в этих условиях и ведет себя как настоящее водное растение, образуя с другими водорослями на дне плотный «ковер», препятствующий поступлению в воду из донных осадков питательных веществ. Под этим «ковром» иссякают запасы кислорода и создаются условия для развития бактерий — анаэробов, выделяющих углекислоту, метан и сероводород. Ситуация усугубляется в период весеннего паводка, когда в озера поступают «залповые» количества кислоты, вызывающие иногда массовый замор рыбы. Масштабы закисления озер весьма значительны и предприятия цветной металлургии наряду с теплоэнергетическими в значительной мере определяют ситуацию. Так, в Канаде ущерб, наносимый рыбному хозяйству кислыми осадками с территории США, оценивают в 1 млрд. долл./год.

При попадании в почву серная и сернистая кислоты, взаимодействуя с ее элементами, образуют труднорастворимые сульфаты, что сокращает запас питательных веществ с одновременным увеличением кислотности. Отравление земляных бактерий и истощение почвенных микроорганизмов, которые нежизнеспособны в кислой среде, способствует помимо накопления неразложившейся органики, изменению физических свойств почвы (уплотнение и образование корки). В сельскохозяйственных районах, где почва перепахивается, известкуется и удобряется, небольшие выпадения серы могут оказаться даже полезными при переходе в доступные для растений формы, однако лесные почвы в результате загрязнения, как правило, снижают свои качества.

Действие на почву таких газообразных загрязнителей, как HCl и HF изучено пока недостаточно, но благодаря своим химическим свойствам они из почвы легко вымываются и поэтому не накапливаются. Необходимо отметить возникающие часто дополнительные эффекты, например, повышение миграционной способности металлов в кислых почвах, что важно в случае ее аэрозольного загрязнения тяжелыми металлами и т. п. Кроме того, воздействия могут быть разобщены территориально: для

$SO_2$ первичные — на экосистемы, непосредственно примыкающие к источнику выброса, вторичные — на территории, находящиеся на значительных удалениях.

Осаждение аэрозолей на растения, как отмечалось ранее, приводит к снижению как продуктивности, так и качества растительного материала, что чрезвычайно важно для агроценозов. Для капельно-жидких аэрозолей (например, аэрозоля $H_2SO_4$ из хвостовых газов серно-кислотного производства) возможно прямое поражение листьев в точках контакта. Ситуация усугубляется, если аэрозоли содержат токсичные элементы (Cd, As, Zn, Cu и др.). В этом случае нужно учитывать и токсические эффекты в пищевых цепях экосистемы, усугубляемые вторичным процессом, а именно параллельным загрязнением почвы, нарушения функций и развития корневой системы и последующим включением через нее токсичных элементов в различные органы и ткани растений. Вторичные эффекты зачастую оказывают более ощутимое действие, чем первичные. Кроме снижения продуктивности эко- и агросистем, аэрозольное загрязнение может привести к полной гибели организмов какого-либо уровня. Так, высокое содержание мышьяка в угле одной из ТЭЦ, а следовательно, и в пылегазовых выбросах, привело к интоксикации почвы, что осложнило ведение сельскохозяйственного производства и, помимо этого, вызвало отравление рыбы в реке за счет миграции As с грунтовыми водами. Следовательно, фиксация загрязнителей в верхних слоях почвы представляет большую опасность для экосистем, поскольку многие из них обладают бактерицидным действием (Pb, As, в больших количествах Cu и Zn, так как они относятся к микроэлементам) и сдерживают рост почвенных микроорганизмов, снижают численность дождевых червей, участвующих в поддержании структуры почвы и ее плодородия. В результате при высоких уровнях загрязнения структура почвы может быть непригодна для сельскохозяйственного использования. Следует отметить, что закрепление в почве токсичных веществ и их накопление растениями зависит от ее свойств. Высокое содержание органики, извести, то есть более высокое pH почвы снижает вредное действие.

К вторичным эффектам можно отнести, например, накопление аэрозолей снежным покровом в течение зимнего периода и последующее их поступление с паводком в водоемы, со всеми вытекающими для водного ценоза последствиями. Первичные и вторичные эффекты, вызываемые аэрозольным загрязнением атмосферы, относятся к одним и тем же экологическим системам,

тяготеющим к предприятию и находящимся территориально под факелом выброса (так называемые «розы» или «ореолы загрязнения»).

В реальных условиях чаще наблюдается комбинированное загрязнение атмосферного воздуха газами и аэрозолями, оказывающее более существенное влияние на состояние биоценозов и агросистем. Отмечено, что загрязнение воздушной среды промышленной пылью, $SO_2$, CO, NO приводит к снижению урожайности кормовых культур на 30, зерновых — на 25, плодовых и подсолнечника — на 20%. Среднемноголетний недобор урожая достигает у кормовых — 41, овощных — 32, зерновых — 2,7 ц/га. В районах действия предприятий цветной металлургии урожаи пшеницы при действии загрязнителей атмосферы падали до 60% с одновременным уменьшением содержания белка в зерне до 30%. Считают, что в целом загрязнение атмосферы снижает продуктивность растений в сельском хозяйстве на 50%.

Перенос из гидросферы. Ограничимся рассмотрением пресноводных экосистем, что в значительной мере отражает ситуацию в цветной металлургии. Первичные эффекты здесь многообразны и связаны с воздействием загрязнений на гидробионты, для которых загрязняемая вода является средой их постоянного обитания. Необходимо отметить, что часто увеличение содержания загрязнителя в водной среде идет на природном фоне содержания, причем многие из элементов в микроконцентрациях играют важную роль в жизнедеятельности гидробионтов, а их содержание, например, в рыбах, соответствует ряду концентраций в воде (Fe, Mn, Zn, Cu и т. д.), однако повышенные концентрации загрязнений оказывают прямое токсическое действие на водные организмы. Так, медь при концентрации выше 0,01 мг/л оказывается токсичной для рыб, для других гидробионтов предел ее токсичности колеблется от 0,08 до 10 мг/л. Никель и цинк при концентрациях больших 0,01 мг/л также оказывают токсическое действие на большинство видов рыб, а кадмий при содержании его в воде 0,1 мг/л токсичен не только для рыб, но и для планктона, ингибирует развитие микроорганизмов. Однако для таких загрязнителей, как тяжелые металлы, даже на уровнях нетоксичных концентраций, идут процессы избирательного накопления, обусловленные их биологической ролью как микроэлементов.

В экологическом плане это обстоятельство чрезвычайно важно, поскольку может вызвать отрицательные эффекты в пищевых цепях, в том числе и при потреблении гидробионтов в качес-

тве пищи человеком. Коэффициенты накопления ($K_н$) тяжелых металлов водными организмами (отношение концентрации металла в организме к его концентрации в воде) могут достигать значительных величин. Механизм их накопления сложен и зависит от многих факторов, в том числе и от образа жизни и типа питания организмов. Так, значительная часть тяжелых металлов в поверхностных пресных водах фиксируется взвешенными частицами (Pb — до 90, Ni — до 98, Cu — до 70, Fe — до 96% и т. д.), в результате седиментации накапливается в донных отложениях и определяет высокие коэффициенты их накопления у представителей донной фауны, характеризуемой малоподвижным образом жизни и фильтрационным механизмом питания. Коэффициенты накопления таких тяжелых металлов как Cd, Hg, Zn, Cu на уровне планктона достигают $10^3$—$10^4$ и несколько уменьшаются при переходе к рыбам. Этого не наблюдается для ртути, $K_н$ которой непрерывно возрастает по мере продвижения по пищевой цепи и может достигать $(4 \div 5) \cdot 10^5$, обусловливая концентрацию Hg в рыбопродуктах до 10 мг/кг, представляющую серьезную опасность для здоровья людей, учитывая, что на 80—85% она находится в виде метилированных форм (допустимая норма потребления ртути человеком, рекомендованная Всемирной организацией здравоохранения, — 30 мкг в день на человека). Таким образом, первичные эффекты воздействия тяжелых металлов при попадании их в водную среду могут выражаться как в угнетении жизнедеятельности или гибели организмов различных звеньев экосистемы, так и при продвижении по пищевой цепочке, достигая человека. К этим же эффектам можно отнести и перестройку структуры водной экосистемы при сравнительно благополучной токсикологической обстановке, вызванную изменением солевого фона или отпугивающим действием взвешенных веществ.

Следует особо отметить загрязнение поверхностных вод органическими веществами, в том числе нефтью и нефтепродуктами. Органические соединения требуют для разложения в процессах самоочищения значительных количеств кислорода, что осложняет жизнедеятельность гидробионтов, поскольку водная среда характеризуется низким содержанием растворенного кислорода (на уровне миллиграммов на литр). Обстановка в водной экосистеме усугубляется еще и тем, что органика оказывает токсическое действие на водные организмы. Например, молодь рачка-бокоплава полностью гибнет в течение 20 суток при концентрации нефтепродуктов 0,06—0,3 мг/л.

В качестве примеров вторичных эффектов воздействия загрязнителей гидросферы на экосистемы можно привести процессы, вызванные аэрозольным загрязнением атмосферы в результате пыления «пляжей» хвостохранилищ. В данном случае взвешенные вещества — первоначальные загрязнители сточных вод обогатительных фабрик — в результате процесса переноса из одной абиотической среды в другую становятся аэрозольными загрязнителями атмосферного воздуха со всеми вытекающими для экосистем последствиями (снижение продуктивности растений, ухудшение качества растительных кормов и т. п.). Перенос «гидросфера—литосфера» происходит при фильтрации загрязненных вод в почву, что, в свою очередь, приводит к накоплению загрязнителей растениями через корневую систему.

Перенос из литосферы. Первичные эффекты воздействия загрязнителей литосферы на экосистемы выражаются, с одной стороны, в значительных потерях земель при образовании отвалов пустой породы, шлаков и т. п. В этом случае речь необходимо вести о полном уничтожении биоценозов, существовавших на исходной территории. В полной мере это относится и к открытым горным работам. Все это тем более важно, что почва как биокосная среда уникальна, как важнейший компонент экосистем, выступающий в роли накопителя и распределителя энергии, прошедшей через уровень фотосинтезирующих растений суши. В экосистемах, неотъемлемой частью которых является почва, происходит синтез органического вещества, его трансформация и минерализация, поглощение различных элементов и их перераспределение между различными уровнями. Важна роль почвы в круговоротах веществ. Через нее в основном осуществляется процесс взаимодействия «атмосфера—литосфера». Обладая таким свойством, как плодородие, почва обеспечивает существование жизни на Земле, дает человеку, прямо или косвенно, 99% всего необходимого, является важнейшим и незаменимым источником продуктов питания. Поэтому потери земель крайне нежелательны. В то же время в цветной металлургии ежегодно нарушается свыше 10, а рекультивируется порядка 3 тыс. га земель. Помимо потери земель и, следовательно, полного разрушения исходных экосистем необходимо учитывать, что в цветной металлургии при рекультивации нарушенных земель могут возникнуть осложнения в силу вовлечения в биогеохимические циклы на восстанавливаемой территории значительных количеств токсичных элементов, что зачастую не позволяет доводить рекультивацию до сдачи площадей сельскохо-

зяйственному производству. Это же обстоятельство обусловливает и возникновение вторичных эффектов в результате переноса загрязнителей из почвы в другие абиотические среды.

Перенос «почва—гидросфера» происходит при выщелачивании талыми и дождевыми водами и приводит к негативным последствиям в водных системах. Так, усвоение мышьяка из отходов заброшенного золотого рудника (концентрация мышьяка в породе находится в пределах 0,12—7,2%) обусловливает его концентрацию в растущих на них растениях на уровне 0,6—0,8 мг/г сухого вещества, что намного превышает фоновое его содержание. В итоге замедляется рост растений, причем он не нормализуется после подкормки. Процессы выщелачивания обусловливают повышенное содержание As в воде ручья (0,14 мг/л), и следовательно, в организме живущих в нем рыб (в 10 раз выше фоновой). За четыре недели концентрация мышьяка в рыбе достигает $\sim$ 0,7 мг/кг.

Перенос «литосфера—атмосфера» происходит в результате пыления отвалов, загрязненных участков земель, склонных к эрозионным процессам. Последствия выпадения аэрозолей из атмосферы рассмотрены выше. Таким образом, независимо от того, в какую биокосную среду поступают первоначально техногенные потоки материальных загрязнителей окружающей среды, оказываемое ими действие может затрагивать все звенья экосистем, что обусловлено процессами переноса вещества. Часто это воздействие может быть пространственно удалено от источника выброса (перенос $SO_2$ и «кислые» осадки) или проявляться в другой природной системе (влияние ртути в рыбопродуктах на здоровье людей). В силу своих особенностей биокосные среды в различной степени взаимодействуют с потоками загрязнителей. Так, атмосферный воздух в максимальной степени способствует распространению примесей. Действительно, высокая интенсивность циркуляции воздушных потоков, малая плотность, осадки способствуют его очищению от загрязнителей за счет переноса их в другие среды. Возможна также и детоксикация загрязнителей атмосферы или их образование за счет высокого уровня инсоляции и наличия кислорода (разложение или окисление и фотохимический смог). В то же время литосфера и ее поверхностный слой почвы способствуют фиксации загрязнителей и в значительной степени препятствуют их распространению.

В поверхностных пресных водах, которые различные организмы и человек главным образом используют для удовлетворения

своих физиологических нужд, помимо этого человек активно использует их в промышленном производстве, достаточно активно осуществляются процессы переноса загрязнений. Кроме того, важна и биологическая роль воды.

Все эти обстоятельства необходимо учитывать при оценке воздействия потоков загрязнителей на экосистемы. Так, например, пары ртути, выбрасываемые в атмосферный воздух, в течение нескольких дней вымываются осадками на поверхность почвы. В почве она накапливается и затем очень медленно (доли процента в год) вымывается в водоемы. После метилирования микроорганизмами ртуть легко проникает в биоту и накапливается в гидробионтах, причем ее относительная токсичность возрастает. Учитывая эти пути миграции, повышенная опасность ртути может проявиться спустя очень длительное время.

Таким образом, учет процессов переноса загрязнителей совершенно необходим при оценке их воздействия на экосистемы.

---

## 4. МОНИТОРИНГ

Основная масса технологических процессов, в том числе и в цветной металлургии, как отмечалось ранее (разд. 2), в настоящий момент относится к незамкнутым, что обостряет взаимодействие развитого в промышленном отношении общества с окружающей природной средой. Отражением требований человека как биологического вида к сохранению определенного качества окружающей его среды служат экологические интересы общества. Однако существует объективная необходимость в дальнейшем развитии производства, поскольку, выступая как социальное существо, человек только в процессе трудовой деятельности с вовлечением в производственный процесс значительных природных ресурсов может удовлетворить свои нарастающие потребности в тех или иных видах готовой продукции. Развивать производство, совершенно не дающее выбросов в окружающую среду в настоящее время нереально, поскольку это приведет к чрезвычайному росту себестоимости продукции. В то же время не следует забывать, что ситуацию определяют уже действующие предприятия. Поэтому на ближайшее будущее проблема загрязнения окружающей среды не снимается с повестки дня.

Учитывая то, что природные системы, в которые в конечном итоге попадают потоки материальных загрязнений, чрезвычайно сложны как по структуре, так и по характеру протекающих в них процессов; человек не может á priori предсказать возможные последствия загрязнений. Такая возможность появляется при экстраполяции или целенаправленном изучении принципов организации, процессов жизнеобеспечения природных систем и поведения в них различных веществ. Последнее направление, очевидно, в максимальной степени исключает возможность возникновения критических ситуаций. Кроме того, оно предпочтительней и по той причине, что промышленностью постоянно выбрасываются все новые и новые вещества, действие которых на организмы и поведение в экосистемах пока не изучено. Необхо-

димо учитывать и то, что экономически целесообразно использовать огромную емкость и очищающую способность биосферы по отношению к потокам загрязнений. В этом случае возникает вопрос об оптимизации взаимодействия общества с природной средой, непременным условием которого является сохранение определенного качества природных систем при постоянном антропогенном воздействии или, в конечном итоге, о регулировании качества природной среды. Последнее невозможно без организации наблюдений, изучения различных факторов воздействия на среду и состояние биосферы, то есть мониторинга природной среды. Под мониторингом понимают систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой.

Состояние биосферы или других крупных экосистем меняется под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов, причем первое происходит медленно, в течение исторических эпох, тогда как последнее может протекать с достаточно большой скоростью. Система наблюдений естественных изменений биосферы существует достаточно давно, но для того чтобы вычленить изменения, появляющиеся в результате воздействия антропогенного фактора, возникает необходимость в специальных наблюдениях. Под мониторингом антропогенных изменений окружающей среды следует понимать систему наблюдений, позволяющую выделить изменения состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности. Она служит частью уже существующей системы гидрометеослужб с включением определения новых элементов, центров сбора, обработки информации и др.

Мониторинг включает:

— наблюдения за факторами, воздействующими на окружающую природную среду, и за состоянием среды;

— оценку фактического состояния природной среды;

— прогноз состояния природной среды и его оценку.

Системы мониторинга бывают различными и по масштабу и по целям. По масштабу они могут быть локальными, региональными (национальными) и глобальными. Глобальная система мониторинга относится к биосфере в целом. Национальная система ограничивается рамками одного государства, особенностью ее является то, что сбор информации и оценка окружающей среды осуществляются в соответствии с национальными интересами. Глобальная система базируется на подсистемах на-

ционального (регионального) мониторинга, которая, в свою очередь, основана на локальных подсистемах. Цели мониторинга могут быть различными в зависимости от области человеческой деятельности, где используются результаты наблюдений и прогноза. Мониторинг включает наблюдения за источниками и факторами антропогенного воздействия, за состоянием элементов биосферы с получением данных о фоновом (первоначальном) состоянии элементов биосферы. В соответствии с этим он классифицируется на мониторинг источников, факторов воздействия, природных сред, фоновый мониторинг (рис. 5).

Такой подход позволяет связать источники воздействия с реакцией отдельных природных сред и экосистем на антропоген-

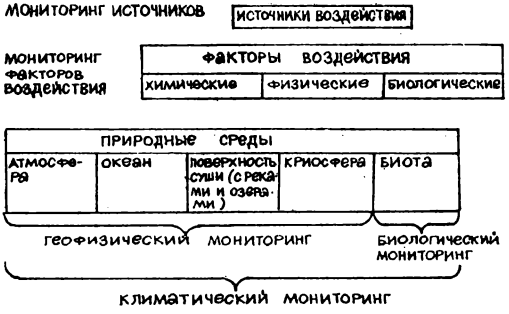


Рис. 5. Классификация мониторинга

ное влияние. Особо отметим, что мониторинг включает выявление источников и факторов воздействия, причем необходимо выявлять те факторы, которые приводят к наиболее серьезным и длительным изменениям в природных средах, а также наиболее чувствительные элементы биосферы (критические, ключевые), нарушение которых ведет к деградации экосистем. В соответствии с этим определяют приоритеты факторов воздействия и элементов биосферы. Здесь важен учет реального распределения организмов различных популяций, возможности антропогенных воздействий на наиболее чувствительные и важные для системы популяции, причем наблюдениям за воздействием непосредственно на человека должен быть отдан максимальный приоритет. Например, при оценке приоритетных территорий максимальное преимущество должно быть отдано городам, зонам использования воды как источника удовлетворения (питьевых) физиологических нужд человека и местам нерестилищ рыб; для

абиотических сред — атмосферному воздуху и воде пресноводных водоемов (особенно малопроточных); для веществ, загрязняющих воздух, — пыли, $SO_2$, тяжелым металлам (Hg), окиси углерода, окислам азота, бенз/а/пирену, пестицидам; воду — биогенным продуктам, нефтепродуктам, фенолам, а для источников загрязнений (в городах) — автотранспорту, теплоэнергетике, предприятиям цветной металлургии и т. д.

При оценке приоритета для техногенных потоков тяжелых металлов используют различные критерии. Так, оценить участие техногенных потоков элементов (технофильность) в биогеохимических циклах можно с помощью коэффициента $K_i$, характеризующего отношение суммарных выбросов i-го вещества в абиотическую природную среду (в тоннах) к кларковому содержанию его в литосфере (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Величины технофильности различных элементов (Ю. А. Израэль, 1984 г.)**

| Элемент | $K_{it}$ | Выбросы в атмосферу, т/год | Среднее содержание в литосфере, % |
|---|---|---|---|
| Hg | $4{,}5\cdot10^9$ | $1{,}5\cdot10^4$ | $3{,}3\cdot10^{-6}$ |
| Cd | $1{,}6\cdot10^9$ | $2{,}5\cdot10^4$ | $1{,}6\cdot10^{-5}$ |
| Sb | $1{,}0\cdot10^9$ | $2{,}0\cdot10^4$ | $2{,}0\cdot10^{-5}$ |
| Pb | $6{,}4\cdot10^8$ | $1{,}0\cdot10^6$ | $1{,}6\cdot10^{-3}$ |
| Se | $3{,}6\cdot10^8$ | $5\cdot10^3$ | $1{,}4\cdot10^{-5}$ |
| Zn | $1{,}7\cdot10^8$ | $9\cdot10^5$ | $5{,}1\cdot10^{-3}$ |
| Ag | $1{,}6\cdot10^8$ | $8\cdot10^2$ | $4{,}8\cdot10^{-6}$ |
| As | $1{,}1\cdot10^8$ | $2\cdot10^4$ | $1{,}9\cdot10^{-4}$ |
| Fe | $8{,}3\cdot10^5$ | $3\cdot10^6$ | 3,6 |
| Al | $1{,}75\cdot10^5$ | $1{,}4\cdot10^6$ | 8,0 |

Высокие значения $K_{it}$ для тяжелых металлов свидетельствуют о том, что несмотря на сравнительно небольшие выбросы в атмосферу, эти элементы могут серьезно нарушать геохимическое равновесие в силу малости их кларков, тогда как, например, железо, несмотря на максимальные эмиссии в атмосферу, в меньшей степени нарушает геохимическое равновесие, поскольку характеризуется высоким кларком.

Приоритет во влиянии различных элементов на крупные экосистемы и, в конечном итоге, на биосферу можно оценить и с точки зрения распространения их с аэрозолями с учетом количества вещества, выброшенного в атмосферу человеком в процессе его хозяйственной деятельности (но без учета перехода в

другие среды). Таким критерием приоритетности является коэффициент обогащения ($K_i$), характеризующий отношение концентрации исследуемого элемента к концентрации опорного элемента, нормированных к их кларковым содержаниям. Так, для районов Средней Азии эти коэффициенты составляют:

| Sb | As | Hg | Co | Zn | Cd | Mo | W | Se | Th |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,0 | 6,0 | 20,0 | 1,2 | 2,9 | 3,1 | 5,0 | 1,5 | 0,66 | 1,0 |

(Th — опорный элемент).

По степени антропогенности ($K_i$) элементы можно расположить в такой ряд:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hg > | As, | Sb, | Mo > | Cd, | Zn > | W > | Co, | Th. | |
| 20,0 | 5—6 | | | 2,9—3,4 | 1,5 | | 1,2—1,0 | | |

Для оценки приоритетности выбираются критерии, основанные на свойствах загрязнителей и возможности организации измерений: 1) размер фактического или потенциального эффекта на здоровье и благополучие человека, климат или экосистемы; 2) склонность к деградации в окружающей природной среде и накоплению в организме человека и пищевых цепях; 3) возможность химической трансформации в физических и биологических системах, в результате чего вторичные вещества могут оказаться более токсичными и вредными; 4) мобильность, подвижность; 5) фактические или возможные тренды (тенденции) концентраций в окружающей среде (и) или человеке; 6) частота и (или) величина воздействия; 7) возможность измерений на данном уровне в различных средах; 8) значение для оценки положения в окружающей природной среде; 9) пригодность с точки зрения всеобщего распространения для равномерных измерений в глобальной и субрегиональной программах. Загрязнитель оценивается в баллах (от 0 до 3) по каждому критерию и по сумме баллов определяется его приоритет (чем выше сумма баллов, тем выше приоритет). В таблице 4.2 приведены приоритеты загрязняющих веществ и масштабы мониторинга.

В соответствии с классификацией систем мониторинга (рис.5) в функции геофизического мониторинга входят наблюдение, оценка и прогноз абиотических сред биосферы, тогда как мониторинг биоты — задача биологического мониторинга, включающая определение состояния биоты, ее отклик на антропогенное воздействие, отклонение от нормы на различных уровнях орга-

низации жизни (молекулярном, клеточном, организменном, популяционном, уровне биоценоза).

Таблица 4.2

**Классы приоритетности загрязняющих веществ**

| Класс приоритетности | Загрязняющее вещество | Среда | Тип программы измерений |
|---|---|---|---|
| I | $SO_2$+взвешенные частицы | Воздух | И, Р, Г |
| | Радионуклиды | Пища | И, Р |
| II | $O_3$ | Воздух | И, Г |
| | ДДТ и другие хлорорганические соединения | Биота, человек | И, Р |
| | Кадмий и его соединения | Пища, человек, вода | И |
| III | Нитраты, нитриты | Питьевая вода, пища | И |
| | Окислы азота | Воздух | И |
| IV | Ртуть и ее соединения | Пища, вода | И, Р |
| | Свинец | Воздух, пища | И |
| | $CO_2$ | Воздух | Г |
| V | Окись углерода | Воздух | И |
| | Нефтеуглеводороды | Морская вода | Р, Г |
| VI | Соединения фтора | Свежая вода | И |
| VII | Асбест | Воздух | И |
| | Мышьяк | Питьевая вода | И |
| VIII | Микротоксины | Пища | И, Р |
| | Микробиологическое заражение | Пища | И, Р |
| | Реактивные углеводороды | Воздух | И |

Примечание: Г — глобальный, Р — региональный, И — импактный (на уровне сильного воздействия в локальном масштабе).

Биомониторинг включает наблюдения на уровне популяций организмов (численность, биомасса, плотность и т. д.), подверженных воздействию: а) здоровье человека и окружающая среда; б) популяции организмов, определяющие благополучие экосистемы или представляющие большую хозяйственную ценность; в) критические по отношению к конкретному воздействию популяции; г) организмы-индикаторы.

Экологический мониторинг должен включать все виды мониторинга в их тесной связи и поэтому представляет наиболее сложный вид мониторинга. Осуществляется на уровне экосистем и дает оценки и прогнозы на этом уровне. Наиболее сло-

жен фоновый (базовый) экологический мониторинг, служащий точкой отсчета антропогенных изменений в биосфере. Он осуществляется на базе биосферных заповедников по определенной программе в целях оценки состояния биосферы в глобальных масштабах. В условиях биосферных заповедников отсутствует интенсивное антропогенное воздействие, что позволяет выявить тенденции в медленных изменениях состояния биосферы, определить фоновые уровни загрязняющих веществ, дать систему отсчета для оценки изменений в зонах сильного антропогенного воздействия, выявить изменения глобального характера. Программа фонового мониторинга приведена в табл. 4.3. Как видно из табл. 4.1 и 4.2 элементы, обладающие

Таблица 4.3

**Программа фонового мониторинга**

| Среда | Загрязняющие вещества и показатели | Частота наблюдений (период осреднения) |
|---|---|---|
| Атмосфера | Пыль, мутность, $O_3$, CO, $CO_2$, $SO_2$, $NO_x$ углеводороды, бенз(α) пирен, ДДТ и др. хлор. органика, Pb, Hg, Cd, As | 1 раз в сутки (1—5 суток) |
| Атмосферные осадки и снежный покров | Pb, Hg, Cd, As, ДДТ, бенз(α)пирен, анионы и катионы ($SO_4^{2-}$, $NO_3^-$ $Cl^-$, $NH_4^+$, $Ca^{2+}$) биогенные элементы | Осадки — 1 раз в месяц в зависимости от собранного и необходимого для анализа количества усредняются 1 раз в квартал; снежный покров — интегральная проба по всей глубине покрова 1 раз в год (до начала таяния) |
| | Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, бенз(α) пирен, биогенные элементы | 1 раз в год в конце вегетационного периода. Почвенная проба берется с верхнего слоя 0—5 см, причем число проб достигает 255 со 100 га |
| Поверхностные и грунтовые воды, донные осадки и плавающие частицы | Pb, Hg, $Hg(CH_3)_2$, Cd, As, ДДТ, бенз(α)пирен, биогенные элементы | Вода — 6 раз в год во время характерных гидрологических периодов (3 раза в половодье, весеннее, весенне-летнее и осеннее, 2 раза в маловодье и 1 раз при паводках вследствие проливных дождей |
| Растительная и животная | Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, ДДТ, бенз(α) пирен, биогенные вещества | 2 раза в год |

наивысшей приоритетностью ($SO_2$, Hg, Cd, As, Pb, F), включены в программу фонового мониторинга и мониторинга источников. Необходимо отметить, что эти загрязнители харак-

терны для технологических процессов предприятий цветной металлургии (см. разд. 2). В табл. 4.4 приведены фоновые концентрации загрязняющих веществ, которые меняются в достаточно широких пределах.

Таблица 4.4

**Фоновое содержание некоторых загрязняющих веществ в различных средах по данным мониторинга**

| Загрязняющие вещества | Воздух, нг/м³ | Поверхностные воды, мкг/л | Почва, мкг/л | Растительный материал, мкг/кг |
|---|---|---|---|---|
| Ртуть | 0,2—100 | 0,01—10 | 0,02—0,15 | 0,001—0,07 |
| Свинец | 1—100 | 0,1 —100 | 6,3 —13,3 | 1—13 |
| Кадмий | 0,1—10 | 0,01—100 | 0,1—0,9 | 0,04—0,5 |
| Мышьяк | 0,05—100 | 0,05—100 | 1,6 —5,9 | — |

Поскольку в настоящее время человек в силу объективных причин вынужден осуществлять сброс потоков загрязнителей в природные среды, используя их способность к самоочищению, необходимо урегулировать количественную сторону дела, то есть антропогенная нагрузка на экосистемы не должна превышать определенных пределов. Для установления этих пределов необходимы изучение и анализ реакций организмов, популяций и экосистем в целом на различные воздействия в абиотических средах, анализ последствий (изменение состояния, болезни, гибель отдельных организмов, популяций, экосистем) и определение различных видов ущерба, выявление критических факторов воздействия (или их комбинации) и наиболее чувствительных элементов экосистем (биосферы) с точки зрения последствий воздействия. В результате появляется возможность определения допустимых экологических воздействий и нагрузок, причем они должны быть определены на отдельные организмы (в первую очередь на человека), популяции, биоценозы, экосистему с учетом различных путей воздействия одновременно на все элементы сообщества или экосистемы (см. разд. 5), а также определение допустимых нагрузок на биосферу, что, однако, невозможно без выработки соответствующих критериев.

Под экологической нагрузкой понимают любое воздействие на экосистему, способное вывести ее из среднего (естественного) состояния. Тогда допустимым воздействием можно считать такое, которое не приведет к превышению допустимой нагрузки на экосистему, которая не вызовет нежелательных последствий, изменений у организмов и сообществ (в первую очередь у чело-

века), а также не приведет к ухудшению качества природной среды, речь идет о небольших изменениях, подразумевающих нормальное функционирование экосистем и отдельных популяций и сохранение высокого качества среды. Высокое качество природной среды для экосистемы означает, что она имеет возможность устойчивого существования и развития, в ней в настоящее время и в будущем отсутствуют неблагоприятные последствия для любой популяции (в случае человека — для каждого персонально). К экологическим критериям, характеризующим высокое качество окружающей природной среды, относятся высокая биологическая продуктивность, оптимальное соотношение видов, биомассы популяций, находящихся на различных трофических уровнях и др.

Биогеоценоз способен в измененной человеком среде поддерживать себя (как систему) в оптимальном состоянии — это значит, что степень антропогенного воздействия не превышает возможностей биологических систем, не подрывает их способность к поддержанию состояния динамического равновесия. По-видимому, состояние биоценоза является наиболее чутким показателем состояния среды. Однако, понятие «допустимое воздействие и нагрузка» неоднозначно, поскольку пределы воздействия зависят от требований, предъявляемых человеком к экосистемам. Все экосистемы можно разделить на три категории в зависимости от цели, которую ставит человек при их эксплуатации: 1) уникальные или заповедные; 2) широко распространенные естественные; 3) сильно преобразованные или искусственные экосистемы.

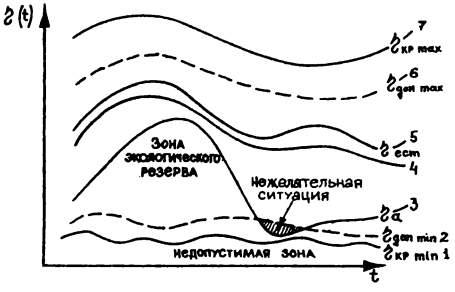


Рис. 6. Функция состояния биосферы (η) во времени при различных нагрузках

Если в первых исключена гибель какого-либо биологического вида, то во вторых — при соблюдении требования сохранения экосистемы и высокого качества природной среды допустимы частичные изменения, а третьи — предполагают любые обоснованные антропогенные изменения в соответствии с намеченными целями. Совершенно очевидно, что для количественной оценки допустимого воздействия на экосистему необходимо

знать ее исходное (фоновое) состояние, не измененное никакими локальными воздействиями. Этому и служит фоновый мониторинг. Исходные состояния элементов экосистем нужно различать на всех уровнях (организм → популяция → биоценоз → экосистема). Функция состояния экосистемы во времени (η) представлена на рис. 6.

Как отмечалось ранее показателями состояния экосистемы могут быть количество биомассы, продуктивность, интенсивность обмена веществом, энергией и др. Нормальное состояние экосистемы (популяции, биоценоза) (5) находится между допустимыми максимальным (6) и минимальным (2) состояниями. В этих пределах состояние каждой популяции соответствует нормальному физическому, химическому и биологическому, а имеющиеся изменения со временем могут быть ликвидированы самой системой. Критические максимальное (7) и минимальное (1) состояния экосистемы ведут к ее разрушению или подавлению. Изменение состояния под воздействием какого-либо антропогенного фактора (3) показывает, что экологический резерв системы определяется разницей между допустимым и фактическим состояниями (иногда — между критическим и фактическим). Причем при прочих равных условиях резерв тем больше, чем меньше отличается фактическое (4) состояние от среднего (нормального) (5).

При определении допустимых нагрузок на экосистемы задача ставится таким образом, чтобы защитить биоценоз и систему в целом, то есть сохранить ее продуктивность, стабильность и разнообразие, причем потеря отдельных особей в популяциях, не представляющая опасности для всей системы, является допустимой. Этим экологическое нормирование антропогенных нагрузок принципиально отличается от санитарно-гигиенического, обеспечивающего безопасность каждого человека. В работе по определению допустимых нагрузок на экосистемы используют понятия их устойчивости и резерва (см. выше). Необходимым этапом этой работы является изучение действия различных загрязнителей на отдельные виды, имеющие важное значение для экосистемы или человека. В случае уникальных систем необходимо определить специальные требования как к состоянию биоты, так и к абиотической среде (например, места нереста рыб). При определении допустимой нагрузки может оказаться, что «критическим» для всей экосистемы будет какой-либо один вид, и в этом случае он определит допустимую нагрузку на систему в целом.

Установление допустимых нагрузок при действии загрязнителей на популяции, формирующие экосистемы, начато недавно. Примером такого нормирования могут служить предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов. В этом случае определяющими для водной экосистемы являются популяции рыб, имеющих промысловое значение для человека. Начаты работы по нормированию воздействия загрязняющих веществ на лесные экосистемы. Однако эти нормативы не учитывают всего многообразия связей и путей распространения загрязнителей в экосистемах, то есть возможности возникновения нежелательных эффектов в результате первичных и вторичных процессов переноса (см. разд. 3). В связи с этим совершенно очевидно, что экологические нормы не могут быть едиными для всех типов экосистем и любых физико-географических условий. Причем специфика поведения загрязняющих веществ в одних случаях дает возможность увеличения антропогенной нагрузки на систему, в других предъявляет более жесткие требования к допустимым выбросам. Так, емкость (ассимиляционная) многих водных систем по отношению к тяжелым цветным металлам существенно возрастает в связи с процессами биоседиментации, что уменьшает нагрузку на экосистему в целом. В то же время для ртути защитная реакция микроорганизмов — метилирование способствует увеличению антропогенной нагрузки. Таким образом, при оценке воздействия вредных веществ на экосистемы исходная концентрация загрязнений в какой-либо среде не является определяющей.

Биоиндикация. Оценка антропогенного влияния на экологические системы и выявление действующего фактора зачастую связаны с трудностями, возникающими из-за сложности аналитического определения загрязняющих веществ на уровне микроконцентраций, а также в силу того, что чаще всего при загрязнении природных сред имеет место комплексное воздействие нескольких веществ. В этом случае важную роль призваны играть методы биологической индикации, в которых воздействие различных загрязнителей определяют по реакции отдельных организмов или их популяций, так называемых видов-индикаторов. Особенностью методов биоиндикации является то, что реакция живых организмов служит сигналом о воздействии, после чего данные физико-химического анализа можно использовать для оценки опасности. Реакция видов-индикаторов часто специфична к определенным компонентам общего комплекса загрязнителей, но может служить и обобщенным показателем качест-

ва природных сред. Например, растения используются для выявления загрязнений атмосферного воздуха, поскольку в больших количествах находятся в специфических условиях местообитания, которые можно охарактеризовать. Так, лишайники обладают высокой аккумулирующей способностью. При прямом солнечном освещении они быстро высыхают, теряя значительное количество влаги, но сохраняя жизнеспособность. Аккумуляция влаги также происходит с высокой скоростью, что обусловливает проникновение загрязнителей, находящихся в осадках, в клетки лишайника. Возможен и захват аэрозолей. Поэтому лишайники используют для мониторинга загрязнений атмосферы по таким элементам, как Hg, Pb, Cd, Zn, Cu, As, причем в отличие от других растений, произрастающих на почве, накопление загрязнителей лишайниками не зависит от состава почвы. Ель и сосна используются для определения загазованности воздуха $SO_2$. Растительный покров систем суши может служить хорошим индикатором для оценки загрязнения окружающей среды, причем по степени отрицательного воздействия на него загрязняющие вещества можно расположить в такой ряд: смесь веществ > сернистые соединения > фториды > окислы азота. Индикаторами состояния природных сред служат и различные животные, насекомые, черви, рыбы, мелкие млекопитающие.

Для мониторинга водных сред виды-индикаторы должны вести прикрепленный образ жизни, иметь длительный цикл развития, соответствующие размеры, достаточную численность, легко отбираться для анализа, иметь высокие коэффициенты накопления тяжелых металлов, выдерживать солоноватые воды. Ими могут быть, например, моллюски, мелкие ракообразные и др. Таким образом, биоиндикация является одним из методов оценки состояния природных сред, зачастую более простым и надежным, чем аналитические методы.

## 5. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Воздействие выбросов металлургических производств на экосистемы. Как уже отмечалось, технологические процессы металлургического производства отрасли поставляют в природные среды значительные потоки весьма токсичных загрязнителей, оказывающих на экосистемы существенное влияние, зависящее от многих факторов (мощность выброса, его природа, условия, загрязняемая абиотическая среда, особенности экосистемы и т. д.). Приведем в качестве примера несколько реальных ситуаций.

Загрязнение атмосферы $SO_2$. Завод расположен в долине, в умеренной климатической зоне. Мощность выброса — 10 т $SO_2$ в сутки. Слегка разбавленный газ оказывал воздействие непосредственно на незащищенные склоны долины. В радиусе 500 м от источника наблюдается полная гибель растительности. Наибольшему повреждению подвергается растительность на открытых вершинах холмов, в оврагах и поперечных долинах. Переход от сильно эрозированной, лишенной растительности зоны к промежуточной характеризуется появлением группировок устойчивых травянистых растений, затем идет зона травы и кустарников. В зоне травы и карликовых деревьев группировки выносливых трав формируют все более связанные между собой участки растительности, образующие, наконец, почти сплошной покров. Под защитой трав способны выживать всходы дуба, однако если его побеги поднимаются выше травостоя, они подвергаются воздействию $SO_2$. С увеличением расстояния от источника всходы дуба и бука способны выживать и образуют заросли. Видовое разнообразие растительного сообщества увеличивается по мере снижения концентрации $SO_2$. На расстоянии 1,5—2,0 км от источника уже существует буково-дубовый лес (рис. 7). В табл. 5.1 приведены средние концентрации $SO_2$

в воздухе на разных удалениях от источника для описываемой ситуации.

Таблица 5.1

**Концентрация $SO_2$ в приземном слое в зависимости от расстояния от источника**

| Расстояние от источника, м | Средние концентрации $SO_2$, мг/м$^3$ | Степень повреждения растений |
|---|---|---|
| 325 | 0,37 | Очень сильное поражение вплоть до общего |
| 600 | 0,22 | Очень сильное повреждение |
| 725 | 0,13 | Сильное повреждение |
| 1350 | 0,05 | Слабое повреждение |
| 1900 | 0,025 | Слабое повреждение очень чувствительных растений |
| 6000 | $SO_2$ не обнаружен | |

Примечание. При мощности выброса $SO_2$ 6000 т в сутки зона полного поражения растительности простирается в радиусе до 30 км от источника.

Особо сильному воздействию подвержены экосистемы, находящиеся в экстремальных условиях, например, субарктические. Так, на Кольском полуострове сернистый газ от семи источ-

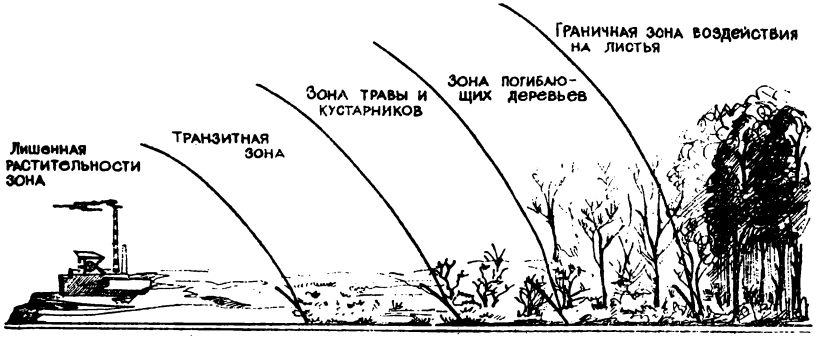


Рис. 7. Зоны поражения растительности сернистым газом при мощности выброса 10 т/сутки

ников, расположенных в 50—150 км друг от друга и занимающих площадь около 100 км$^2$ ( ~ 0,07%) территории региона, фиксировали в воздухе на территории 120—150 тыс. км$^2$, а деградация лишайников зафиксирована на площади 50 тыс. км$^2$ (33%) территории региона. Площади, на которых идет дегра-

дация хвойных лесов, тундры, моховых болот, окружающие промышленные предприятия и города, равны 400—1200 км².

При воздействии $SO_2$ на агроценозы наблюдается снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Так, после пуска цеха очистки пылегазовых выбросов от $SO_2$ и $H_2S$ с 20-кратным снижением концентрации газов (в жилой зоне) произошло повышение урожайности: пшеницы на 1,3; овса — на 3,2; гороха — на 8,6; сахарной свеклы — на 80 ц/га и т. д. При действии на сельскохозяйственных животных отмечены сокращение удоев молока и повышенная заболеваемость. Например, при содержании $SO_2$ в воздухе 0,15 мг/м³ удои у коров сокращались на 9%, жирность молока уменьшалась на 8%, вес животных снижался на 26—37%.

Попадание тяжелых металлов в природные системы, особенно в эксплуатируемые человеком, также вызывает нежелательные эффекты. В табл. 5.2 приведены данные по загрязнению почвы в зоне предприятия цветной металлургии. Вблизи металлургических предприятий, действующих длительный период, в почве существенно увеличивается не только содержание токсичных элементов, но и снижается количество дождевых червей со всеми вытекающими последствиями.

Количество дождевых червей в пахотном слое почвы, рассчитанное на 100 л, при удалении от источника выброса на 250 м составляет 0, при 600 — 0,5; 750 — 5; 950 — 7,5; 1150 — 9; 1400 — 16; 1500 — 33. В почве этого ареала содержится 0,2—2 г/кг As, 0,1—0,2 г/кг Pb и до 1 г/кг Zn.

Таблица 5.2

**Загрязнение почвы вблизи предприятия цветной металлургии**

| Глубина, см | Свинец, мг/кг | | Мышьяк, мг/кг | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,8 км | 1,5 км | 0,8 км | 1,5 км |
| 0—20 | 1010 | 410 | 10,7 | 4,4 |
| 35—40 | 30 | 63 | 0,3 | 1,1 |
| 95—100 | 32 | 32 | 0,3 | 0,1 |

Примером снижения качества продукции, получаемой на загрязненной почве, могут служить результаты выращивания пшеницы на супесчано-подзолистой почве с общим содержанием Pb 1000 мг/кг, достаточно часто встречающимся в зоне действия металлургических предприятий. В этом случае при полной зрелости содержание свинца составляло: в листьях — 47,4; кор-

нях — 46; стеблях — 1863; зерне — 2,8 мг/кг сухого веса при снижении урожайности более чем в 2 раза. В аналогичных условиях при содержании Cd в почве 10 мг/кг концентрация его составляла в зерне 6,2 мг/кг сухого веса. Отметим, что критические уровни содержания тяжелых металлов в рационе сельскохозяйственных животных составляют: Cd — 3, Hg — 1, Pb — 3, Zn — 500, Se — 5, Ni — 50, Mo — 10, Co — 50 мг/кг сухого веса.

Экологические особенности такого загрязнителя окружающей среды, как фтор и его соединения отмечены ранее. Напомним также, что его концентрация в наземных частях растений определяется главным образом накоплением газообразных соединений и выпадением аэрозолей. Считают, что содержание фтора около или более 50 мг/кг в кормовых культурах представляет серьезную опасность для животных независимо от формы нахождения загрязнителя в растительном материале.

Содержание фтора в люцерне (мг/кг сухого веса) в зависимости от расстояния от источника составляет: при удалении на 0,1 км — 350; 0,5 — 95; 3,5 — 29. Как видно, только на расстоянии 3,5 км люцерна соответствует требованиям, предъявляемым к кормам. Чаще всего предприятия цветной металлургии являются поставщиками сразу нескольких загрязнителей, зачастую склонных к синергизму (взаимному усилению нежелательного эффекта), что усугубляет ситуацию (табл. 5.3).

Таблица 5.3

**Содержание вредных веществ в луговой траве (без видимых признаков повреждения) в окрестностях металлургического комбината**

| Удаление от источника выброса, км | Содержание, мг/кг сухого вещества | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pb | Zn | F | As |
| 0,5 | 80 | 445 | 49 | 19,8 |
| 1,0 | 147 | 720 | 71 | Не обн. |
| 1,5 | 42 | 170 | 69 | 0,2 |
| 2,5 | 16 | 400 | 78 | Не обн. |
| 4,0 | 15 | 150 | 28 | 2,7 |

Вышеприведенные примеры загрязнения показывают, что выбросами предприятий цветной металлургии наносится существенный ущерб сельскому хозяйству не только за счет снижения урожайности, но и за счет снижения продуктивности животноводства вследствие ухудшения качества кормов. Этот ущерб ощутим и имеет вполне конкретное стоимостное выражение.

Ущерб же лесному хозяйству несколько меньше, так как оценивается преимущественно при острых воздействиях, ведущих к гибели деревьев, а также, возможно, и меньших затратах труда на воспроизводство в этой сфере хозяйствования. Значительный ущерб народному хозяйству наносит цветная металлургия за счет загрязнения поверхностных вод и потери земель. Таким образом, в настоящий момент вопросы экологического характера тесно переплетаются с экономическими, что вполне закономерно, поскольку те и другие призваны обеспечить жизненное благосостояние общества, хотя противоположны по содержанию, целям и методам их достижения.

Оценка экологической ситуации. Совершенно очевидно, что промышленное производство не может нормально развиваться и функционировать без связи с окружающей средой, которая дает необходимое сырье, энергетические ресурсы, являясь одновременно и средой, принимающей значительные потоки отходов производства. Стоимость мероприятий по охране окружающей среды, обеспечивающих соблюдение санитарно-гигиенических норм на вновь строящихся предприятиях цветной металлургии, достигает 40—55% сметной стоимости. Выполнение аналогичных требований для действующих производств обходится в 2—3 раза дороже. Учитывая то обстоятельство, что именно действующие предприятия определяют обстановку в условиях большого количества мероприятий, осуществление которых необходимо для обеспечения санитарных норм и сохранения высокой продуктивности природных систем, а также ограниченности финансовых, материальных, трудовых и прочих ресурсов, выделяемых обществом на эти цели, встает вопрос о максимальной эффективности их использования. По нашему мнению последнее невозможно без оценки экологической ситуации в зоне действия производства, которая должна служить фундаментом для выработки стратегии природоохранительной деятельности предприятия, определяющей приоритетность мер, темпы их осуществления, а в итоге — максимальную эффективность.

Методика оценки экологической ситуации в зоне действия предприятия в настоящее время отсутствует (вообще же к вопросам экологической экспертизы стали проявлять активный интерес с начала 80-х годов). Тем не менее исходя из того, что действующее производство представляет собой неотъемлемую часть природной системы, а также из принципов функциониро-

вания экосистем, их конкретной значимости для человека, возможных нежелательных эффектов воздействия загрязнителей и продуктов их превращений на отдельные популяции и экосистему в целом (и конечно, в первую очередь на здоровье человека) можно перечислить основные положения, необходимые для такой оценки.

Первым этапом работы должна стать инвентаризация выбросов по всей длине технологической цепочки с указанием количества загрязнителя и формы его нахождения, разделением загрязняющих потоков по абиотическим средам (атмосферный воздух, поверхностные воды, почва), на которые они оказывают непосредственное воздействие, а также с определением процента от суммарного количества выбрасываемого компонента и нагрузки в т/год. Затем в каждом потоке необходимо расшифровать формы нахождения загрязнителей и их удельный вес. В итоге получают структурную схему потока отходов технологии, дающую представление о нагрузках на абиотические среды экосистемы, вмещающей данное производство. Рекомендуется составить также таблицу удельных величин, характеризующих технологический процесс (водопотребление на единицу получаемой продукции, выбросы, землеемкость, энергоемкость и т. п.), которая в дальнейшем поможет провести оценку технологии. Этот этап работы выполняется силами природоохранной службы предприятия.

Следующий этап работы включает характеристику системы «население — хозяйство — природа», содержащей источник загрязнения. По отдельным компонентам этой системы, начиная с жилой зоны, проводится сбор информации и определяются требования к качеству природных сред для каждого ее звена в соответствии с его ролью. В этой работе в качестве критериев используются существующие в настоящее время нормативы, например, ПДК абиотических сред. Необходимые требования к качеству отдельных компонентов природных сред могут быть получены от соответствующих организаций (санитарно-эпидемиологические службы, службы Госкомгидромета, инспекции по охране водного бассейна, органы рыбнадзора, лесной охраны, землеустройства, отраслевые исследовательские организации Минсельхоза, Минлесхоза СССР, институты, академии наук. Список организаций определяется структурой системы «население — хозяйство — природа». Например, если в системе отсутствуют такие составляющие, как сельскохозяйственное произ-

водство и лесное хозяйство (высокогорный безлесный район) это соответственно сокращает список организаций. После выяснения требований (а иногда после работы по их установлению) к качеству природных сред по всем возможным показателям составляется карта нормативов для всех видов загрязнений. Составление такой карты позволяет определить критические звенья подсистем и системы в целом и, следовательно, те критерии качества абиотических сред, которые в итоге послужат основой для оценки ситуации и принятия решений. Например, в системе «население — хозяйство — природа» все водоемы относятся к категории рыбохозяйственных. В этом случае критериями, определяющими качество воды, будут предельно допустимые концентрации (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного назначения. В такой работе необходимы материалы, полученные на предыдущем этапе, поскольку ПДК всегда определяются формой нахождения элемента (так, ПДК (среднесуточная) для водорастворимых аэрозолей никеля — 0,0002, аэрозоли окиси никеля — 0,001 мг/м$^3$). Необходимо также отметить возможность синергических эффектов загрязнителей в различных средах. Как следует из вышеизложенного, работа второго этапа в значительной мере может быть выполнена силами природоохранных служб предприятия, тем более, что требования многих инспектирующих организаций составляют ее основу и, как правило, известны. Однако в решении некоторых вопросов невозможно обойтись без помощи специализированных организаций (например, при определении нормативов качества воздуха для сельскохозяйственных культур).

На третьем этапе необходимо определить границы воздействия выбросов предприятия на природную среду по зонам: 1) рабочая; 2) санитарно-защитная; 3) жилая; 4) минимальная; 5) максимальная. В этой работе следует пользоваться в первую очередь результатами инструментальных замеров в жилой зоне, в воде водоемов и в санитарно-защитной зоне, которые осуществляются санитарно-промышленной лабораторией предприятия по методикам, утвержденным и согласованным с контролирующими органами. Необходимо также использовать данные по рассеиванию вредных веществ в атмосфере и разбавлению стоков в поверхностных водах (определяются расчетным путем по существующим методикам). Эти данные могут быть получены от ведущего отраслевого института или соответствующих подразделений Госкомгидромета, Минводхоза и т. п. Во всех слу-

чаях необходимы исследования по определению реальных границ зоны воздействия предприятия. Они включают сбор сведений по визуальной оценке состояния компонентов природной среды и инструментальное определение реального воздействия, что совершенно необходимо, поскольку существует возможность отдаленных эффектов, а также скрытого поражения. Особенно важна эта часть работы в тех случаях, когда возникают затруднения с количественной инвентаризацией выброса (например, пыление «пляжей» хвостохранилищ). Исследования должны проводиться компетентными научно-исследовательскими организациями с выдачей результатов в форме, устраивающей контролирующие и заинтересованные органы. На этом же этапе для уточнения зоны и характера воздействия предприятия на природную среду следует рассмотреть вторичные эффекты, вызываемые процессами переноса загрязнителей (например, закисление почв и озер, критическое накопление фтора растениями и т. п). Работа на этом этапе завершается перечнем всех возможных воздействий выбросов предприятия на отдельные звенья системы «население — хозяйство — природа».

Четвертый этап включает сопоставление реальных нагрузок на отдельные компоненты и экосистему в целом с соответствующими (существующими или выработанными) нормативами, после чего в зависимости от значимости того или иного компонента рассматриваемой системы и нагрузки, оказываемой на него (с учетом процессов переноса), составляется приоритетный перечень мероприятий по охране окружающей среды с рекомендациями по снижению выбросов. Совершенно очевидно, что на первом месте по своей значимости в системе находится такой ее компонент, как «население». Поэтапное рассмотрение с учетом процессов переноса позволяет иногда внести существенные коррективы в казалось бы очевидную последовательность природоохранных мероприятий.

Предположим, что предприятие сбрасывает 10 млн. м$^3$/год сточных вод с концентрацией Ni в них 5 мг/л и $SO_4^{2-}$ — 5 г/л в водоем рыбохозяйственного назначения — озеро площадью 400 км$^2$ с интенсивностью водообмена 5 лет и площадью водосбора 10 тыс. км$^2$.

В контрольном створе инспекция Минводхоза фиксирует незначительное превышение концентрации Ni над ПДК$_{рыбхоз}$, содержание же $SO_4^{2-}$ ниже ПДК$_{рыбхоз}$, но значительно выше фонового для этого водоема. На этом основании от предприятия

требуют очистки стоков от этих компонентов или прекращения их сброса. Допустим также, что исследовательскими работами, проведенными по просьбе предприятия, установлено, что выпадение только водорастворимых аэрозолей никеля на поверхность озера составляет 100 кг/км$^2$ год, а сульфатов — 10 т/км$^2$ год. В этом случае поступление в озеро со стоками составит: Ni — 50 т/год; $SO_4^{2-}$ — 50 тыс. т/год, тогда как выпадение Ni с осадками только на зеркало водоема — 40 т/год, а $SO_4^{2-}$ — 4 тыс. т/год непосредственно на поверхность водоема и с площади водосбора, даже при пятидесятипроцентных потерях — 50 тыс. т/год. Однако в период весеннего паводка на водоем возможны «пиковые» нагрузки, приводящие к гораздо худшим последствиям, нежели равномерный сброс $SO_4^{2-}$ — иона со стоком. Вышеизложенное показывает, что вопросы охраны водоема тесно связаны с охраной воздушного бассейна и на этом следует сконцентрировать усилия и средства, тем более, если состояние воздушного бассейна в жилой (и производственной) зоне требует снижения содержания пыли и $SO_2$. Приоритет за вопросами охраны атмосферного воздуха сохраняется еще и потому, что возможно в приведенной ситуации сульфат-ион в силу своих химических свойств не будет обладать кумулятивным эффектом, что позволит при высокой скорости водообмена в водоеме быстро снизить солевой фон, а последующий перевод предприятия на бессточную схему водопользования окончательно решит проблему охраны озера от загрязнения.

Вполне естественно, что изложенный выше подход к оценке экологической ситуации не только не исключает, а наоборот, требует на каждом из этапов, и особенно при инвентаризации выбросов по ходу технологического процесса, поиска путей их снижения на основе анализа вызывающих их причин, удельных показателей. Дальнейшая работа должна заключаться в том, что в соответствии с приоритетом и рекомендациями по кратности снижения выбросов в соответствующую природную среду должны приниматься конкретные технические решения, связанные либо с очисткой выбросов в биосферу, либо с изменением самой технологии. Здесь окажутся полезными удельные характеристики производственного процесса, полученные на первом этапе работы, сравнение их с лучшими для аналогичных производств, рассмотрение новых технологических решений и т. п. Эта работа должна проводиться силами предприятия и соответствующего головного института отрасли с экономической

оценкой различных вариантов. Если проблема решается путем строительства очистных сооружений, необходимо также оценить возможное воздействие вновь образующихся отходов, энергозатраты и т. п. При радикальном изменении технологии, особенно в случае внедрения новой, рекомендуется провести экологическую экспертизу проекта в соответствии с имеющимися методиками эколого-экономической оценки проектных решений.

При таком подходе к оценке экологической ситуации в зоне действия предприятия в первую очередь имеются в виду металлургические производства, а основная задача заключается в том, чтобы помочь природоохранным службам производств в грамотной организации работы на уровне предъявляемых текущим моментом требований. Как видно из вышеизложенного, она невозможна без проведения исследований, тесного сотрудничества с компетентными организациями, глубокой заинтересованности администрации и всех рабочих в деле охраны природной среды. В конечном же итоге выработка единой стратегии охраны природы на предприятии позволит рационально расходовать средства, отпускаемые на эти цели.

---

## 6. СТРУКТУРА И ФУНКЦИИ ПРИРОДООХРАННЫХ СЛУЖБ ПРЕДПРИЯТИЙ

Для выполнения функций по охране окружающей среды на предприятиях отрасли организованы специальные подразделения. Структура управления, типовые штаты и нормативы численности инженерно-технических работников функциональных подразделений по охране окружающей среды определяются по методике, разработанной ЦНОТцветметом и утвержденной заместителем министра цветной металлургии СССР.

В настоящее время действует разработанное Управлением главного энергетика и утвержденное заместителем министра цветной металлургии СССР Временное типовое положение о подразделении по охране окружающей среды производственного объединения, предприятия и организации цветной металлургии. Появление документов, регламентирующих деятельность природоохранных подразделений предприятий и организаций отрасли, является большим шагом вперед и, несомненно, дает положительные результаты.

При разработке нормативов численности инженерно-технических работников по охране окружающей среды за базу приняты: норматив для предприятия как планово-учетной единицы с номинальным вспомогательным производством и обслуживающим хозяйством и нормативы для имеющихся на предприятии основных производств, каждый вид которых характеризуется определенной совокупностью и величиной воздействия на окружающую среду и показателями, сопоставимыми для данного вида производства. Кроме того, при установлении нормативов учитываются масштаб производства, повышенное количество сбросов (выпусков) сточных вод, объемы работ по рекультивации земель и капитальному строительству природоохранных объектов, местные условия предприятия и другие факторы.

Численные значения показателей, необходимые для определения нормативной численности инженерно-технических работников подразделения по охране окружающей среды предприя-

тия, принимаются из его технического паспорта, техпромфинплана и статистической отчетности по охране окружающей среды.

Для выполнения функций (задач) по охране окружающей среды на предприятии организуются служба, возглавляемая заместителем главного инженера предприятия, или отдел (бюро) охраны окружающей среды, лаборатория охраны окружающей среды и промышленной санитарии, или назначается старший инженер, ответственный за это направление деятельности.

При нормативной численности инженерно-технических работников по охране окружающей среды 4 человека и более на предприятии организуется служба под руководством заместителя главного инженера предприятия или отдел охраны окружающей среды. При численности от 2 до 4 человек организуется служба, возглавляемая заместителем главного инженера предприятия по охране окружающей среды, пылегазоочистке и вентиляции, или бюро охраны окружающей среды в составе отдела главного энергетика или технического отдела. При численности от 0,5 до 2 человек организуется лаборатория охраны окружающей среды и промышленной санитарии, выполняющая, кроме того, функции санитарной промышленной лаборатории, или в составе отдела главного энергетика, технического (производственно-технического) отдела устанавливается должность старшего инженера по охране окружающей среды.

Служба и отдел охраны окружающей среды или лаборатория охраны окружающей среды и промышленной санитарии создаются организационно самостоятельными и подчиняются главному инженеру предприятия. Службе, отделу охраны окружающей среды административно или функционально подчиняются санитарно-промышленная лаборатория, лаборатория пылегазоочистки и подразделения по испытанию, наладке и контролю работы вентиляции.

При разработке структуры природоохранных подразделений на предприятиях можно исходить из следующих задач:

— создание самостоятельной природоохранной службы, включающей технологические и функциональные подразделения;

— создание смешанной структуры, состоящей из самостоятельного функционального подразделения, подчиняющегося главному инженеру, и технологических участков, входящих в состав производственных цехов и подчиняющихся начальнику цеха.

Обе структуры имеют положительные и отрицательные моменты. Например, создание целевой, самостоятельной комплексной структуры природоохранных подразделений позволяет осуществлять централизованный контроль состояния и управление качеством окружающей среды в зоне действия предприятия. Такой самостоятельной единицей может быть цех утилизации отходов и очистки пылегазовых выбросов и сточных вод. В его состав должны входить следующие подразделы:

— функциональная группа, координирующая всю природоохранную деятельность, занимающаяся составлением статотчетности по формам 2ТП, текущих и пятилетних планов, оценкой экологической ситуации, эколого-экономическим прогнозированием, определением текущих природоохранных затрат, оценкой ущерба и распределением целевых средств на природоохранные мероприятия;

— группа санитарного контроля (санитарно-промышленная лаборатория), задачей которой является осуществление контроля за эффективностью работы пылегазоочистных установок и сооружений по очистке сточных вод, а также контроль пылегазовыбросов и загрязнений в сточных водах и т. д.;

— технологические участки и отделения по утилизации отходов, очистке пылегазовых выбросов и сточных вод, станции оборотного водоснабжения.

Реализация такой структуры на предприятии позволяет ввести в качестве одного из основных показателей работы завода план по утилизации отходов, так как цех будет работать на самостоятельном балансе, перерабатывать отходы и выпускать продукцию. Централизация и оперативность управления всей природоохранной деятельностью на предприятии — главное достоинство этой структуры.

Смешанная структура формирования природоохранных подразделений основывается на принципах ответственности технологических цехов за охрану окружающей среды и подчиненности им участков улавливания и обезвреживания промышленных выбросов. Функциональное подразделение (отдел, бюро, лаборатория, группа) осуществляют лишь координацию природоохранной деятельности. Преимуществом этой структуры является непосредственная ответственность технологических цехов и их коллективов за результаты природоохранной деятельности. При этом полностью реализуются преимущества принципа «Очистка и обезвреживание — есть составная часть технологического процесса».

Последовательность основных этапов природоохранной деятельности подразделения по охране окружающей среды следующая:

— инвентаризация выбросов и составление структурной схемы потока отходов;

— оценка системы «население — хозяйство — природа», определение требований к качеству природных сред;

— составление карты нормативов для всех видов загрязнений;

— определение границы воздействия выбросов;

— сравнительный анализ реальных нагрузок на отдельные компоненты и экосистему в целом в соответствии с нормативами;

— составление приоритетного перечня природоохранных мероприятий по снижению выбросов;

— определение природоохранных затрат на текущий год, пятилетний период и в соответствии с разработкой долгосрочного прогноза;

— проведение эколого-экономического прогноза и выбор оптимального варианта развития производства.

При выборе структуры для внедрения необходимо учитывать сложившуюся ситуацию на предприятии: масштабы производства, количество отходов, возможность их утилизации, оснащенность установками улавливания и обезвреживания промышленных выбросов, состояние контроля загрязнения окружающей среды, уровень природоохранного сознания работников предприятия и т. д. Но независимо от структуры создаваемые природоохранные подразделения в своей работе не должны замыкаться на составлении отчетности, а должны научно обосновывать приоритетность природоохранных мероприятий и определять необходимые экономические затраты на реализацию этих мероприятий.

Анализ типовых штатов и нормативов численности, а также Временного типового положения о подразделении по охране окружающей среды показывает, что структурой штатов не предусмотрена должность инженера-эколога, а в типовом положении отсутствует пункт об обязательном проведении подразделением оценки экологической ситуации в зоне действия предприятия. Именно оценка создавшейся экологической ситуации позволяет на научной основе определить наиболее опасный ингредиент и источник выбросов и, следовательно, наметить необходимое техническое решение, правильно спланировать природоох-

ранные затраты и рационально использовать средства, выделенные на охрану окружающей среды. Знание экологической ситуации позволяет осуществлять прогноз состояния окружающей среды в зоне предприятия, регионе с учетом ее факторов и промышленного развития района или региона.

---

## 7. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Осуществляемые в нашей стране мероприятия по совершенствованию хозяйственного механизма ставят задачи повышения роли планово-управленческой деятельности и в решении природоохранных проблем. Эти мероприятия предусматривают разработку и утверждение в составе пятилетних планов программ по комплексному использованию природных ресурсов и планов работ по охране окружающей природной среды. Процессы хозяйственного воздействия на природную среду поддаются эффективному управлению лишь в рамках рассчитанных на длительный срок перспективных планов совершенствования природопользования. Исходным этапом составления таких планов является комплексный прогноз взаимодействия социально-экономического развития и экологической ситуации в составе разрабатываемой на 20 лет комплексной программы научно-технического прогресса.

Следовательно, для разработки комплексных программ необходимо знать создавшуюся экологическую ситуацию в зоне действия предприятия и на этом основании осуществлять первоочередные мероприятия по снижению их отрицательного воздействия на окружающую среду, а так же планировать как производственную, так и природоохранную деятельность. Существующая практика планирования природопользования является несовершенной, поскольку отрасли и их производственные подразделения заинтересованы прежде всего в выполнении производственной программы по выпуску запланированного объема продукции с минимальными затратами. Таким образом, создается противоречие между производственной и природоохранной деятельностью предприятий и отраслей в целом. Отмеченный недостаток может быть преодолен при переходе от отраслевого к регионально-отраслевому принципу планирования природопользования. В этом случае создаются предпосылки для составления региональных программ природопользования. Для разработки таких программ необходимо провести экологическую оценку при-

родных ресурсов и оценить состояние окружающей среды. Итогом этой работы является разработка и установление плановых нормативов потребления природных ресурсов и плановых стандартов качества окружающей среды.

В процессе работы следует учитывать, что установленный уровень чистоты окружающей среды может быть достигнут с минимальными затратами только при условии дифференциации норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) с учетом места расположения источников загрязнения, их технико-экономических характеристик, гидрометеорологических факторов природной среды. Если рассматривать нормативы ПДК с точки зрения их социально-экономической природы, то следует отметить их близость к целому ряду других социальных нормативов: научно обоснованным нормам питания, нормативам обеспечения жилой площадью, предметами длительного пользования, услугами здравоохранения и т. д. Эти нормативы, как и нормативы ПДК, предполагают необходимость создания наилучших условий жизнедеятельности человека, в частности обеспечение его здоровья. В связи с этим нормативы ПДК являются перспективными оптимальными нормативами качества жизни человека.

Практика использования ПДК в качестве критерия оценки качества окружающей среды свидетельствует о том, что этот показатель с экологических позиций не всегда отвечает предъявляемым к нему требованиям: не учитываются или учитываются частично эффекты химического взаимодействия, эффекты химического и биологического накопления вредных веществ в недопустимо высоких концентрациях, в результате их перехода в другую среду, накопление в пищевых цепях. Другим недостатком ПДК является неоднозначность периода осреднения (для атмосферного воздуха) и различия в количестве регламентируемых веществ (для атмосферного воздуха и воды) в различных странах. Установленный в СССР стандарт на два кратковременных периода осреднения — 0,34 и 24 часа является недостаточным для оценки длительного влияния атмосферных загрязнений на здоровье человека.

Одной из задач мониторинга является контроль за соблюдением норм предельно допустимых выбросов, ограничивающих объемы выбросов вредных веществ в окружающую среду. Поэтому установление норм ПДВ — это логическое и санитарно-гигиеническое нормирование с учетом технологических и экономических возможностей народного хозяйства, это реальное техни-

ческое средство регулирования качества природной среды. Правовые основы нормативов ПДВ как предельного количества загрязняющего вещества, которое разрешается выбрасывать в окружающую среду в единицу времени из данного источника выброса, заложены в Законе СССР «Об охране атмосферного воздуха», а также в основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик.

Решению задачи создания цельной системы природоохранных нормативов способствовало появление широкой программы комплексной стандартизации в области охраны природы. Стандарты являются организационно-техническим и правовым средством регулирования взаимоотношений министерств, ведомств, предприятий и организаций. Основные положения системы стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов, задачи и направления стандартизации, типовая структура, объекты и классификация системы стандартов утверждены в 1976 году и содержатся в ГОСТ 17.0.0.01-76.

Стандартизация в области охраны природы направлена на решение следующих задач:

— ограничение поступлений в окружающую природную среду промышленных, транспортных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод и выбросов для снижения содержания загрязняющих веществ в атмосфере, природных водах и почве до количеств, не превышающих ПДК;

— рациональное использование и охрана водотоков, внутренних водоемов и морей, их водных и биологических ресурсов;

— упорядочение землеустроительных работ, охрана и рациональное использование земли, соблюдение оптимальных нормативов отвода земель для нужд строительства, промышленности и транспорта;

— сохранение и рациональное использование биологических ресурсов;

— обеспечение воспроизводства диких животных, поддержание в благоприятном состоянии среды их обитания;

— сохранение генофонда растительного и животного мира, в том числе редких и исчезающих видов;

— охрана природно-заповедных объектов;

— улучшение использования недр.

В составе программы природоохранной стандартизации выделены шесть уровней: международный, региональный, государственный, отраслевой, республиканский, уровень предприятий (объединений) и восемь объектов (блоков): 0 — основные

положения; 1 — термины, определения, классификации; 2 — показатели качества природных сред, параметры загрязняющих выбросов и сбросов, показатели интенсивности использования природных ресурсов; 3 — правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов; 4 — методы определения параметров состояния природных объектов и интенсивности хозяйственных воздействий; 5 — требования к средствам контроля и измерений состояния окружающей среды; 6 — требования к устройствам, аппаратам и сооружениям по защите окружающей среды от загрязнений; 7 — прочие стандарты (надзор за внедрением, эффект от внедрения и т. д.).

В соответствии с этими положениями природоохранные стандарты объединены в комплексы стандартов. Обозначение стандартов в области охраны природы и рационального использования природы включает в себя: номер системы по классификатору (присвоен номер 17), шифр комплекса, шифр группы, порядковый номер стандарта, год регистрации стандарта. Например, ГОСТ 17.1.1.01—77 «Охрана природы. Гидросфера. Охрана и использование вод. Основные термины и определения» включает в себя номер системы — 17, шифр комплекса «Гидросфера» — 1, шифр группы (термины, определения, классификации) — 1, порядковый номер стандарта — 01, год регистрации стандарта — 77.

Для разработки различных обоснованных плановых нормативов необходимо иметь обоснованный естественно-научный и социально-экономический прогноз эколого-экономической ситуации, в которой будет функционировать производство. При проектировании нового или реконструкции действующего производства в качестве интегрального эколого-экономического показателя по каждому варианту следует сопоставить величину

$$Э = S - Z_{осн} - W + D,$$

где S — экономическая оценка годового производства основной продукции (услуг) при реализации данного варианта;

$Z_{осн.}$ — приведенные затраты (на строительство, реконструкцию и т. д.) по данному варианту;

W — соответствующая данному варианту годовая экономическая оценка ущерба от образования при производстве активных вредных веществ или энергии;

D — годовая оценка экономического эффекта от реализации или переработки улавливаемых примесей.

Расчет в данном случае сводится к более точному определению величины W. Если имеются выбросы, то возникают затраты ($Z_{улавл.}$) на подавление выброса (пылегазоочистку, очистку сточных вод, шумопоглощение и т. д.). Если не достигнуты требуемые нормы (ВСВ, ПДВ, ПДС или ПДК), то возникает необходимость в разбавлении загрязнений в среде до их контакта с живой природной средой. С этой целью осуществляются затраты ($Z_{разбавл.}$) на дымовые трубы и др. Зачастую на предприятиях проводятся мероприятия по усилению нейтрализующих свойств окружающей среды (озеленение, возведение антишумовых экранов и др.). Затраты на эти мероприятия обозначим $Z_{мелиор. среды}$. Наконец, если все эти средства не позволяют достигнуть полной защиты от загрязнений окружающей среды, то возникает ущерб от причиненного загрязнения, экологическую оценку которого обозначим — u.

Таким образом, $W = Z_{улавл.} + Z_{разбавл.} + Z_{мелиор. среды} + U$.

Обозначим через A сумму S, $Z_{осн.}$ и неварьируемых компонент W, взятых со своими знаками. Вариант i эффективен, если

$$Э_i = A - Z_{iулавл.} \quad - U_i + D_i > 0$$

Наиболее эффективен вариант, которому соответствует максимальное значение Эi.

При определении приоритетности или последовательности реализации мероприятий, существенно различающихся как по требующимся затратам, так и по экономическим оценкам результатов, целесообразно для каждого мероприятия (M) вычислить значение величины $F_м$, которую назовем эффективностью затрат на мероприятие M

$$F_м = \frac{Э_м}{Z_м},$$

где $Z_м$ — суммарные приведенные затраты на мероприятие M;

$Э_м$ — оценка годового экономического эффекта этого мероприятия.

Приоритетность этого мероприятия тем выше, чем больше соответствующее ему значение $F_м$.

Фундаментальная проработка советскими учеными системного эколого-экономического обоснования проблем оптимального использования и охраны природных ресурсов, совершенствование методик природоохранного планирования позволили создать эколого-экономические модели и разработать принципы

управления ими. Одна из эколого-экономических моделей приведена на рис. 8.

В этой модели одновременно и во взаимной увязке отражаются процессы, протекающие в эколого-экономической системе, что дает возможность принимать решения, обеспечивающие получение максимального экономического эффекта в производстве и исключение отрицательного воздействия хозяйственной деятельности на природу. Модель позволяет выбирать оптимальные решения как с точки зрения экономики, так и с точки зрения

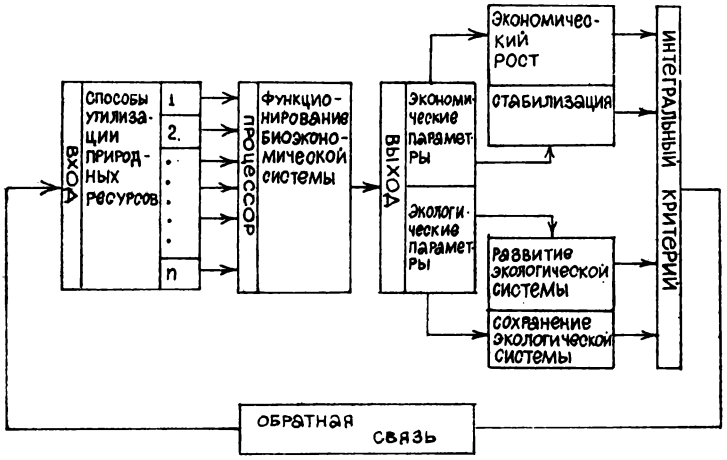


Рис. 8. Принципиальная модель управления эколого-экономической системой.

экологии. На вход модели подается множество различных способов (вариантов) утилизации природных ресурсов, а на ее выходе выдаются результаты экономического и экологического характера. Любой, предусмотренный проектом способ (вариант) утилизации природных ресурсов, какой бы высокий уровень экономического прироста он ни сулил, не должен включаться в план, если этот экономический эффект сопровождается деградацией или разрушением, гибелью природных экологических систем или важных их компонентов. Точно так же не должен включаться в план и тот способ (вариант) утилизации природных ресурсов, который обеспечивает сохранение или даже развитие природных экологических систем, но сопровождается сокращением производства или снижением его экономической эффективности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время вопросы управления качеством окружающей среды со всей остротой встали на повестку дня. Вполне понятно, что работа в этом направлении не может вестись эффективно без оценки состояния природных сред, разработки критериев их качества и определения допустимых нагрузок на экологические системы. В конечном итоге задача регулирования качества природной среды может быть успешно решена только в случае системного подхода, организации целенаправленного изучения природных систем и мониторинга. Это, в свою очередь, требует развития прикладной экологии, позволяющей создать фундамент для принятия конкретных решений.

При проектировании и строительстве новых предприятий возможна экологическая экспертиза проектов, дающая заключение о степени соответствия технологии вмещающей ее экосистеме. Это направление в настоящий момент активно развивается. Сложность же заключается в том, что именно действующие, и зачастую, старые предприятия определяют техногенные нагрузки на природные системы. В этом случае ответ на вопрос о степени соответствия их вмещающей экосистеме должен служить лишь начальным этапом собственно природоохранной деятельности на предприятии. Конкретные меры по охране окружающей среды в настоящее время требуют значительных материальных и финансовых затрат. В связи с этим в условиях ограниченности средств эффективная природоохранная работа требует рационального их использования. Однако сложность технологий цветной металлургии, широкий спектр поставляемых ею загрязнителей и особенности экосистем, вмещающих предприятия, не всегда позволяют правильно оценить ситуацию и выработать стратегию природоохранной деятельности, включающей приоритетный перечень природоохранных мер. Этому должна способствовать правильная оценка экологической ситуации в зоне действия предприятия, которая невозможна без соответствующей методики. Основные этапы этой работы приведены в настоящем пособии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Одум. Основы экологии. — М.: Мир, 1975.

2. П. Дювиньо, М. Танг. Биосфера и место в ней человека. — М.: Прогресс, 1973.

3. Ф. Рамад. Основы прикладной экологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981.

4. Мирзаев Г. Г., Иванов В. А. Экология и рациональное использование природных ресурсов: Учебное пособие. — Л., 1983.

5. Химия окружающей среды/Под ред. Дж. О. М. Бокриса. — М.: Химия, 1982.

6. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984.

7. Влияние загрязнений воздуха на растительность. Причины воздействия. Ответные меры /Под ред. Х.-Г. Дресслера. — М.: Лесная промышленность, 1981.

8. Р. Гудериан. Загрязнение воздушной среды. — М.: Мир, 1979.

9. Реймерс Н. Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия биосферы. — М.: Знание, 1960.

10. Очистка и контроль сточных вод предприятий цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1983.

11. Влияние загрязняющих веществ на гидробионты и экосистемы водоемов. — Л.: Наука, Ленинградское отд., 1979.

12. Экологические аспекты химического и радиоактивного загрязнения водной среды. — М.: Пищевая промышленность, 1978.

13. Экологические аспекты химического и радиоактивного загрязнения водной среды. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.

14. Проблемы фитогигиены и охрана окружающей среды. — Л., 1981.

15. Неронов В. М., Тушинский С. Г., Семенова Т. Ю. Биосферные заповедники и глобальный мониторинг окружающей среды //Итоги науки и техники. Сер. охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. — 1983. — т. 14.

16. Х. Маринов, М. Механджиев, В. Ботев, М. Ненков. Экологизация и экологическая экспертиза. — Свиштов, 1981.

17. Химические элементы в системе «почва—растение» /Под ред. В. Б. Ильина. — Новосибирск: Наука. Новосибирское отд., 1982.

18. Крючков В. В. Закономерности изменения экосистем Севера при его хозяйственном освоении //Экология. — 1983. — № 6. — С. 65.

19. Ролята на екологическия фактор в териториалната организация на производството. Свиеко'84. — Свищов, 1984. — Т. 1.

20. Методите на екологическите еспертизи в световнате практика. — Свищов, 1984.

21. Лебковский С. С. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — Киев: Вища школа, Гол. изд-во, 1982.

22. Добровольский В. В. География микроэлементов. //Глобальное рассеяние. — М.: Мысль, 1983.

23. Добровольский В. В. Вечная круговерть тяжелых металлов //Химия и жизнь. — 1985. — № 4. — С. 27.

24. Ансеров Ю. М., Дурнев В. Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отд. 1979.

25. Цыганков А. П., Балацкий О. Ф., Сенин В. Н. Технический прогресс — химия — окружающая среда. — М.: Химия, 1979.

26. Совершенствование планирования рационального использования и охраны водных ресурсов в цветной металлургии. — М.: ЦНИИцветмет экономики и информации. — 1984. — Вып. 4. — 62 с.

27. Временное типовое положение о подразделении по охране окружающей среды производственного объединения, предприятия, организации цветной металлургии. — М., 1985. — 12 с.

28. Временные типовые структуры управления, типовые штаты и нормативы численности инженерно-технических работников функциональных подразделений по охране окружающей среды производственных объединений, предприятий и организаций цветной металлургии. — М., 1984. — 16 с.

29. Методика планирования и учета текущих затрат на охрану окружающей среды на предприятиях цветной металлургии. ЦНИИцветмет экономики и информации. — М., 1984. — 30 с.

30. Лемешев М. Я. Эколого-экономическая модель природопользования //Всесторонний анализ окружающей природной среды //Тр. Советско-американский симпозиум. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — С. 266—277.

31. Борисовский М. А., Желтов П. М. Прогноз состояния и управления качеством окружающей среды: Учебное пособие. — Рига: МИПКСНХ ЛатвССР, 1983. — 108 с.

32. Новиков Г. А. Основы общей экологии и охраны природы. — Л.: ЛГУ, 1979. — 350 с.

33. Шварц С. С. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование //Мир науки. — 1976. — № 2.

34. Наумов Н. Т. Экология животных. — М.: Высшая школа, 1963. — 618 с.

35. Сукачев В. Н. Основы лесной биогеоценологии. — М.: Наука, 1964. — 517 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . . 3
1. Элементы общей и прикладной экологии . . . . . 5
2. Экологическая характеристика некоторых технологических процессов цветной металлургии . 19
3. Процессы переноса в экосистемах . 35
4. Мониторинг . . . . . 46
5. Оценка экологической ситуации в зоне действия предприятий цветной металлургии . . . . . 61
6. Структура и функции природоохранных служб предприятий . . . . . 73
7. Оптимизация природопользования 79
Заключение . 86
Литература 88

Утверждено методическим советом института

НС 12144 Подписано к печати 31 июля 1986 г.
Формат 60×84/16 Бумага типографская Печать высокая
Объем 5 печ. л. Тираж 600 Заказ 61 Цена 25 коп.

Цех № 1 производственного объединения «Полиграфист»
г. Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 145