

НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

7/1977

СЕРИЯ  
ТЕХНИКА

В. Г. Гмошинский  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ЭКОЛОГИЯ



$$\begin{aligned} & \delta \approx \frac{Z-1}{Z} \\ & \frac{dZ}{dt} = K \cdot K_0 \cdot e^{K_1 Z} \cdot Z(t) \\ & Z = Z_0 \left( e^{\frac{K \cdot K_0 \cdot Z_0}{Z} \cdot e^{K_1 Z}} - 1 \right) \\ & \frac{dZ}{dt} = (K \cdot K_0 \cdot Z) \cdot Z \cdot \frac{Z-1}{Z} \\ & Z = \frac{Z_0}{1 + \left( \frac{Z_0}{Z} - 1 \right) e} \end{aligned}$$

Всеволод Георгиевич Гмошинский

## ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Гл. отраслевой редактор В. П. Демьянов

Редактор Г. И. Флиорент

Мл. редактор Н. А. Львова

Обложка художника Л. П. Ромасенко

Худож. редактор Т. И. Добровольнова

Техн. редактор Т. В. Самсонова

Корректор Р. С. Колокольчикова

Т—10417. Индекс заказа 75007. Сдано в набор 17/V-1977 г. Подписано к печати 17/V-1977 г. Формат бумаги 84×108<sub>1/32</sub>. Бумага типографская № 1. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,34. Тираж 61 000 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 938. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 11 коп.

Гмошинский В. Г.

Г55 Инженерная экология. М., «Знание», 1977.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника», 7. Издается ежемесячно с 1961 г.)

Автор показывает, каким образом оценить степень загрязнения среды обитания, как определить технико-биологические средства, с помощью которых можно компенсировать (или предотвратить) вред, наносимый природе при использовании современной технологии. В брошюре приведены конкретные расчеты и примеры, иллюстрирующие их.

Материал рассчитан на читателя, интересующегося техникой, и особенно на специалистов-практиков всех отраслей народного хозяйства.

21002

57.026 + 605

© Издательство «Знание», 1977 г.

Общество и природа... Сегодня, когда взаимоотношения человечества с окружающей средой не всегда организованы удовлетворительным образом, когда окружающая нас атмосфера, вода, почва загрязняются, охрану природы можно без преувеличения назвать проблемой века.

Ресурсы нашей планеты ныне уже нельзя рассматривать как бесконечные, в экономику вводятся новые, ранее не использовавшиеся компоненты природной кладовой. Возможности природы нередко уже не удовлетворяют потребностям человечества. Вмешательство в ход естественных процессов порой вызывает серьезные потрясения в системе природы. Это и многое другое становится причиной ответных реакций окружающей среды — ее воздействие на человека все более ощутимо и не всегда благоприятно.

В современных условиях экологическая проблема не только техническая, экономическая, организационная, но и социальная. Анализ отношений того или иного общества к окружающей среде показывает, насколько прогрессивно это общество. Природопользование предстает в качестве своеобразного критерия развития социальных систем, их эффективности и жизнеспособности.

Практика строительства социализма и коммунизма убедительно подтверждает правоту марксистско-ленинской концепции взаимодействия общества и природы. Преимущества социалистической системы хозяйства перед капиталистической проявляются в данном случае в том, что социализм создал производственные отношения нового типа, которые определяют в конечном счете новый подход к решению самых сложных проблем, в

том числе и проблемы взаимоотношений общества и человека с окружающей средой.

В последние годы в Советском Союзе приняты Основы земельного, водного законодательства, Основы законодательства о недрах, о здравоохранении, имеющие огромное значение для защиты окружающей среды. Правительством СССР утвержден ряд постановлений о мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов, о защите Каспийского, Черного и Азовского морей, бассейнов Волги и Урала, о сохранении богатств озера Байкал. Это привело к резкой интенсификации экологических исследований, изысканий, проектирования, производства защитных систем и устройств, а также АСУ для управления ими. Современный подход к такого рода деятельности предполагает разработку ее методических основ, с тем чтобы экономно и эффективно использовать средства при осуществлении этих грандиозных программ.

В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть методологические возможности оценки степени загрязнения окружающей среды; имея подобные оценки, можно попытаться прогнозировать инженерные средства, нормализующие среду обитания. Исследование среды обитания с биологических позиций и одновременное исследование средств, нормализующих среду обитания, предположительно может быть названо **инженерной экологией**. Еще рано, однако, говорить об исчерпывающем определении содержания этого направления исследований; но можно предложить практическое, так сказать, определение инженерной экологии и пользоваться им в настоящей работе, оставляя за специалистами в этой области возможность найти более точное определение по мере накопления фактических данных, идей, соображений. На этом этапе под **инженерной экологией** понимается область исследований на стыке естественных и технических наук, предмет которой — **оценка степени вреда, наносимого природе индустриализацией производства, и прогнозирование технико-биологических средств охраны окружающей среды**.

(Методы и приемы, с помощью которых в настоящей работе решаются конкретные задачи экологического прогнозирования, известны из общей и инженерной прониостики. Они описаны в работах Г. М. Доброва,

В. А. Лисичкина, И. В. Бестужева-Лады, Э. Янча, Д. Прайса и др.)

Наиболее универсальной можно было бы посчитать оценку степени загрязнения окружающей среды с позиций существования жизни на земле в целом. Человека при этом следовало бы рассматривать как один из многих элементов биоценоза, существенным образом зависящего от массы других элементов. Но сейчас, например, трудно предвидеть, сколь сильный вред существованию на земле человека нанесла бы гибель некоторых компонентов океанического планктона, фундамента трофических связей морских биоценозов. К сожалению, такой фундаментальный подход на современном уровне развития наших знаний практически невозможен: мы не располагаем достаточно полными данными о естественных связях множества организмов и не умеем оценивать эти связи в количественном отношении.

Но время подгоняет нас. Интенсивное развитие производства, рост народонаселения, уменьшение запасов природных ресурсов и многое другое требуют неотлагательного решения ряда практических вопросов, связанных с возможными вредными последствиями хозяйственной и технологической деятельности человека.

(Следует оговориться, что в дальнейшем изложении используются условные экологические ситуации. Они отличаются от реальных тем, что состояние окружающей среды в них подчас представлено более опасным, нежели в существующих обстоятельствах. Такой прием помогает полнее раскрыть проблематику и возможности инженерной экологии.) Поэтому сегодня необходимо, как минимум, оценить влияние загрязнения окружающей среды непосредственно на человека и связанные с ним элементы биоценоза. В этом смысле автор условно ставит человека в центр предлагаемой им антропоцентрической **экологической системы** (конечно, возможны и другие системы).

Антропоцентрическая система в социологическом аспекте подчеркивает ответственность человека за охрану окружающей среды. В ней различают ближайшие и более удаленные взаимодействия человека с различными биологическими объектами, что позволяет развить идею ранжирования и нормирования<sup>1</sup> экологических объектов,

<sup>1</sup> Нормирование в инженерном прогнозировании — присвоение весов объектам, включенным в ранжированную последовательность.



оценить степень воздействия на них загрязнений окружающей среды и инженерные факторы, характеризующие среду обитания. Мы отдаем себе отчет в условности такой системы, отражающей лишь индикационный подход, т. е. суждения о скрытых процессах и явлениях на основе внешних, косвенно опосредованных признаков. Тем не менее на данном этапе этот подход практически целесообразен.

В какой-то мере попытка ввести ранжированную последовательность экологических объектов поможет в определенных пределах решить поставленную еще В. И. Вернадским задачу количественного выражения роли биогенного фактора в среде обитания. О ранжировании экологических объектов с позиций значимости их в хозяйственной деятельности человека весьма обстоятельно и вполне конкретно говорил также академик С. С. Шварц. В соответствии с экологической концепцией В. И. Вернадского и С. С. Шварца можно предложить следующую логику ранжирования экологических объектов.

**Человек.** Входит в экосистему совместно с другими компонентами биоценоза. В антропоцентрической системе он, естественно, занимает в ранжированной последовательности первое место.

**Домашние животные и культурные растения.** В эту группу (характеристику)<sup>2</sup> включены млекопитающие, птица, рыба, злаки, садовые культуры, специально культивируемые человеком полезные микроорганизмы и т. д. Их объединяет общий признак «культурности». Условия существования подобных объектов формируются в значительной степени целенаправленной деятельностью человека. Стало быть, все они в большей или меньшей степени изолированы от воздействия природных факторов. Поэтому констатация нарушений в этой группе — косвенное свидетельство интенсивности нарушений биоценоза. Не нуждается в доказательстве утверждение о том, что «домашние животные и культурные растения» обеспечивают существование большей части рода человеческого. Это позволяет нам поставить данную характеристику сразу после характеристики «человек».

<sup>2</sup> Группу эквивалентных элементов биоценоза можно также называть характеристикой, подчеркнув тем самым содержательную особенность экологического объекта.

**Промысловые животные и дикорастущие растения.** Объединены различные формы растений и животных, так или иначе используемые в хозяйственной деятельности человека. В ряде районов они формируют региональный экономический потенциал, и мы сочли возможным поместить эту характеристику на третье место.

**Массовые виды компонентов биоценоза,** не используемые человеком непосредственно в хозяйственной деятельности. Значимость экологических объектов, входящих в эту группу, подтверждает следующее: если из биоценоза выпадает массовый вид организмов (непосредственно не используемых человеком в его хозяйственной деятельности), экологические условия того или иного региона могут существенно измениться из-за нарушения биологического равновесия. Например, если уничтожить воробьев (а подобное известно), то не исключено, что сильно пострадают культурные и полезные дикорастущие растения, так как птицы регулируют численность их вредителей.

**Малочисленные виды растений и животных, нейтральных в отношении хозяйственной деятельности человека.** Исчезновение из биоценоза малочисленных компонентов в меньшей мере нарушает его динамическое равновесие. Например, исчезновение стеллеровой коровы (что, безусловно, печально), равно как и других животных, занесенных в «Красную книгу», практически не отразилось на хозяйственной деятельности человека.

**Объекты загрязнения, источники и виды загрязнителей.** Загрязнение окружающей среды — явление сложное, оно по-разному влияет на экологические объекты. Процессы метаболизма экологических объектов протекают в непосредственных контактах с воздухом атмосферы, водой и почвой. Собственно, эти компоненты совместно с экологическими объектами и образуют биосферу. Под действием аэродинамических, гидрологических, геофизических и других процессов воздух, вода и почва модифицируются. На них «накладываются» эффекты загрязнения среды из-за хозяйственной деятельности человека и причин, не зависящих от него (извержение вулканов, гниение лесов, заиливание водоемов, рек и лиманов, разложение трупов диких животных и т. п.).

Однако основная причина, принципиально изменяющая в последние 20—25 лет окружающую среду, — по-



явление огромного количества отходов в виде неразлагающихся элементов. Они, прежде всего, выводят из строя механизмы биологического самоочищения, как бы освобождая дорогу для непосредственного токсического воздействия на полезные для человека биологические объекты, и одновременно с этим дают зеленую улицу развитию некоторых вредных для человека примитивных форм жизни (синезеленые водоросли, анаэробные бактерии и т. д.). Имеются примеры существенного повреждения значительных по площади и протяженности экологических систем (озеро Эри в США, река Рейн в ФРГ). Ученые справедливо считают, что взамен бактериологической эры загрязнения биосферы пришла эра химическая.

В статье «На пороге нового века» А. Б. Марков приводит эпизод, рассказанный ему Г. М. Кржижановским. В один из солнечных дней 1922 г. В. И. Ленин обратил внимание на дым, валивший из труб первой московской электростанции. Владимир Ильич довольно резко заметил, что техника, которая вредит здоровью человека, нам не нужна: «Нельзя создавать условия жизни, когда в городах люди, как говорил Энгельс, задыхаются в своем собственном навозе и спасаются кто может и кто куда — в поисках свежего воздуха и чистой воды. Но и это бегство не спасает. С течением времени «железная пята» этаких электростанций и других промышленных левиафанов может растоптать и пашню и лес, ступит на берега прозрачных рек. И люди будут мечтать о глотке чистого воздуха и свежей воды. Социализм немислим, невозможен без дружбы с природой... Серьезно, очень серьезно подумайте об этом в Госплане»<sup>3</sup>.

Анализ процессов загрязнения окружающей среды следовало бы начать с определения того, что именно загрязняется и каким образом это происходит. Иными словами, следовало бы проанализировать все объекты загрязнения, все источники и виды загрязнителей, что в небольшой книжке невозможно. Поэтому будем ориентироваться на укрупненное разграничение объектов загрязнения: воздух, вода, почва. Кратко остановимся на их экологической характеристике.

**Воздух.** Прежде всего хочется отметить, что воздух

загрязняется как искусственно (т. е. отходами современных технологий), так и естественным путем независимо от деятельности человека. Весьма интересные сопоставительные данные, опубликованные академиком М. А. Стыриковым. Так, в 1970 г. все энергетические устройства в мире выбросили в атмосферу 100 млн. т пылегазовых веществ, около 150 млн. т сернистого ангидрида, 300 млн. т окиси углерода и более 50 млн. т окиси азота. Это внушительно, если иметь в виду, что в начале нынешнего столетия в атмосферу выбрасывалось не более 9—10 млн. т пылегазовых веществ, менее 12 млн. т сернистого ангидрида, не более 28—30 млн. т окиси углерода и совсем ничтожное количество азота. Но, как отмечает М. А. Стырикович, естественным путем в том же 1970 г. преимущественно за счет вулканических процессов в атмосферу попало более чем 200 млн. т серо-содержащих газов, 30 млн. т окиси углерода и 700 млн. т окислов азота. Выходит, что природа сама себя изрядно загрязняет...

Но вернемся к хозяйственной деятельности человека. В США в среднем ежегодно в воздух выбрасывается газов и химических веществ: автотранспортом — 86 млн. т, промышленностью — 23, электростанциями — 20, системами отопления — 8, при сжигании отходов и мусора — 5 млн. т. Эксперты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) считают, что столь интенсивное загрязнение воздуха стимулирует распространение хронических бронхитов, катаров верхних дыхательных путей, пневмонии, эмфиземы, оно — одна из причин, вызывающих рак легких. Положение усугубляется еще и тем, что загрязнения в атмосфере «накладываются» друг на друга, перемещаются. Это усложняет картину распределения концентраций примесей в атмосфере (эффект синергизма<sup>4</sup>). Может случиться такое, что даже при очень низком уровне загрязнения воздуха в регионе уровень загрязнения за счет синергизма станет угрожающим.

Загрязнение воздуха продуктами современной цивилизации может повести к серьезным последствиям. Одно из них — нарушение озонового слоя, своеобразного защитного кожуха, который предохраняет нас от вредных космических излучений. Некоторые отходы вступа-

<sup>3</sup> См.: А. Б. Марков. На пороге нового века. — «Дружба народов», 1970, № 4, с. 214—215.

<sup>4</sup> Синергизм — усиление токсичности при соединении малотоксичных компонентов.



ют в химическое взаимодействие с озоновым слоем, образуют в нем «дыры», через которые потоки космического излучения устремляются на землю. Они проводят, как показал советский ученый А. А. Чижевский, сыпной тиф, холеру, сибирскую язву и др. Разрушают слой озона (образуют зоны кавитации) и сверхзвуковые самолеты.

Как последствия загрязнения воздуха можно рассматривать и возможности потепления на земле и, соответственно, существенное изменение экологического баланса. Не исключена и возможность глобального таяния льдов (Гренландия, частично льды Арктики и Антарктиды), что поведет к повышению уровня Мирового океана.

Это может произойти из-за так называемого «парникового эффекта» над поверхностью земли. Причина его — выброс в атмосферу значительных доз углекислого газа и окиси углерода.

**Вода.** Немалую тревогу сегодня вызывает положение с пресной водой. Ежегодный кругооборот воды на земном шаре примерно 40 тыс. км<sup>3</sup>. По подсчетам советского специалиста М. И. Львовича, человечество тратит на бытовые нужды ничтожную долю, не более 1% от всей массы. Казалось бы, нет оснований беспокоиться за судьбу пресной воды, хотя некоторые страны, например Япония, уже сейчас ощущают признаки «водного голода».

Дело в том, что предприятия современной промышленности непосредственно тратят в год на технологические нужды не менее 10—12% от массы мирового кругооборота. Кроме того, 28—30% уходит на разбавление сточных вод для их обезвреживания (к сожалению, не всегда и не полностью эффективного). Таким образом, современная цивилизация «пьет» по крайней мере 40% мировых запасов пресной воды. К началу XXI века невосполнимые потери могут вплотную приблизиться к уровню естественного воспроизводства воды. Где же выход? Ну, прежде всего, в разработке различных вариантов безводной промышленной технологии. Советский Союз последовательно и методически проводит работы по экономии водных ресурсов в промышленном водоснабжении. Например, в сороковых годах на нефтеперерабатывающих заводах на тонну переработанной нефти расходовалось примерно 25 м<sup>3</sup> воды; на предприятиях,

запроектированных в пятидесятые годы, предусматривался расход воды в 8 м<sup>3</sup>; в проектных разработках 60-х годов эта цифра снизилась до 1,3. На действующих в настоящее время предприятиях расход воды на тонну перерабатываемой нефти не превышает 0,24 м<sup>3</sup>. А на вновь проектируемых, по словам академика В. А. Кириллина, предусматриваются безводные процессы, или процессы с весьма ограниченным использованием воды.

Следует особо отметить, что экономия технологических вод не распространяется на бытовое потребление. Нормы потребления на бытовые нужды в Советском Союзе постепенно увеличиваются, хотя и сегодня никто не ощущает недостатка воды. Этим, очевидно, объясняется тот факт, что люди по большей части вообще не знают о существовании норм расхода воды, так как потребности на нее полностью удовлетворяются.

Потребность в пресной воде в СССР все еще ощущается, например, в связи с необходимостью «разбавить» излишнюю соленость вод Азовского моря. Оно с давних пор было рыбной кладовой России, однако за последние 30 лет в связи с большим водозабором в реках Дон и Кубань резко изменился его химико-биологический состав, что повело к сокращению рыбных запасов.

Можно надеяться, что проблема Азовского моря будет решена с учетом экологической значимости объектов северных рек, Ледовитого океана и самого Азова. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли в феврале 1976 г. специальное постановление о мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей.

**Почва.** Об опасности перегрузки почвы веществами неорганического происхождения предупреждали еще русские академики В. В. Докучаев и В. Н. Сукачев. В ней сосредоточены в потенциальной форме огромные ресурсы, накопленные за многие миллионы лет. Почва — это конгломерат, в котором перемешаны исходный материал (субстрат), добавки из микроорганизмов, воды (мокрые почвы) и воздуха. В этом смысле почву, как сокровищницу всего живого на земле, необходимо трижды охранять (как субстрат, воздух и воду). Мы несколько подробнее остановимся на загрязнении почвы при рассмотрении инженерных мероприятий. Здесь существенно отметить, что о почве, как объекте загрязне-



ния, имеется значительно меньше публикаций, чем в этом плане о воздухе и воде.

Источники загрязнения могут быть временные и постоянные. Для инженерной экологии особое значение имеют постоянные источники загрязнения, поскольку разработка инженерно-биологических средств борьбы с загрязнением предполагает их долгосрочное использование. Ликвидация временных источников загрязнения (включая загрязнения от лесных пожаров, наводнений и других стихийных бедствий) станет, очевидно, прерогативой аварийных служб.

Далее. Основные источники загрязнения — промышленные предприятия, которые при несовершенной технологии выделяют в атмосферу, воду и почву пылегазовые, твердые и жидкие загрязнители (углеводороды, окись углерода, некоторые виды пестицидов, моющие средства, ртуть, свинец, кадмий, макротоксины, радиационные загрязнители и т. д.). Число загрязнителей в настоящее время перевалило за тысячу, и, естественно, что все они не могут быть даже упомянуты в настоящей работе. Поэтому кратко остановимся на экологической характеристике основных (укрупненных) источников загрязнения.

Основные производства, источники пылегазовых и жидких загрязнителей, следующие: химические заводы (производство кислот, щелочей и пестицидов); нефтеперерабатывающие предприятия; заводы по производству и переработке пластмасс и резиновых изделий; газовые и коксохимические заводы (производство фенола); предприятия по сухой переработке древесины, смол и креозотов; красильные текстильные и бумажные фабрики, а также кожевенные заводы. К источникам загрязнения (при недостаточном соблюдении техники безопасности) также относятся: предприятия горной и угледобывающей промышленности и карьеры (промывка руд, терриконники); заводы по производству смазочных материалов и моющих средств. Следует сразу подчеркнуть, что такое выделение источников загрязнения достаточно условно, так как все зависит от организации соответствующего производства.

Справедливо отмечает советский ученый Г. Волков, что «во всех конфликтах с природой повинна не техника, не производство само по себе, а наша неспособность, неумение, нежелание (в силу тех или иных социальных

причин) наилучшим образом организовать обмен веществ с природой».

Предприятия, казалось бы, безвредные для окружающей среды, такие, как сахарные, лесопильные, пивоваренные и винокуренные заводы, а также бойни, могут попасть в разряд экологически опасных при недостаточном строгом нормировании сбросов сточных вод.

Сами по себе **гидротехнические сооружения** (плотины, водохранилища, каналы) не загрязняют окружающую среду, но неправильное их возведение и эксплуатация может стать причиной заболачивания и засоления почвы. Это, в свою очередь, приводит к существенным сдвигам в биоценозах.

Непосредственная причина заболачивания — не контролируемая или слабо контролируемая утечка воды через плотины и дамбы, а также фильтрация ее в грунтах оснований гидротехнических сооружений. Особенно опасны неучтенные в проектах гидродинамические напоры, под действием которых вода из каналов и верхних бьефов плотин распространяется на большие расстояния (эффект подтопления). Возникла своеобразная проблема — «борьбы с мелководьем». Мелководье образуется при строительстве водохранилищ и является причиной появления синезеленых водорослей и анаэробных бактерий.

Одно из последствий подтопления — так называемая латеризация почвы, нежелательный для человека эффект ее выщелачивания и последующая цементация грунтовых фракций окислами железа. На такой почве растения практически не растут.

Заболачивание и засоление настолько загрязняют окружающую среду, что во многих странах мира стали с подозрением смотреть на выгоды гидротехнического строительства (гидроэлектростанции, орошение), тем более что оно, как правило, осложняет и биологические процессы воспроизводства рыбных запасов.

**Бытовые источники загрязнения.** «Бытовое загрязнение» особенно усилилось после второй мировой войны в связи с непомерным ростом городов и увеличением численности населения. По подсчетам, на одного городского жителя приходится примерно 0,8 кг твердых отходов (стекло, пластмассы, бумага, металл) и около 9 л сточной воды в сутки. Токио, например, «выдает» каждые сутки 8 тыс. т твердых отходов и 99 тыс. м<sup>3</sup> сточной во-



ды. Ежедневные бытовые отходы Нью-Йорка составляют 7,2 тыс. т твердых отходов и 89 тыс. м<sup>3</sup> сточной воды. Соответственно в Москве 5,6 тыс. т и около 50 тыс. м<sup>3</sup>.

Переработка сточно-канализационных вод — достаточно хорошо изученная и практически освоенная процедура. Более сложная задача — переработка твердых отходов, особенно по новым видам материалов (изделия из реактопластов, полистиролов и др.), строительного мусора, стекла и т. д.

**Нефтетанкеры и контейнеры с экологически опасными грузами.** Аварии нефтетанкеров в последние годы приводят к весьма серьезным последствиям. Известна «авария века» у берегов Испании весной 1974 г. Не менее губительными для обитателей моря оказались катастрофы в проливе Ламанш, в Северном, Средиземном и Карибском морях. Положение усугубляет сброс балластных вод из трюмов судов. Внимание экологов привлекает и весьма высокий уровень загрязнения вод Средиземного моря ртутью и ее производными, чем человечество обязано опять же авариям судов в последние годы, а также неконтролируемому выносу огромных масс промышленных сточных вод, содержащих соединения ртути.

Не менее страшны поломки контейнеров с экологически опасными веществами. Недавно стали известны подробности о радиационном загрязнении дна Атлантического и Тихого океанов. В этих районах в течение 30 лет американцы захоранивали отходы исследований в области атомной энергии. Загрязненное плутонием и цезием лабораторное оборудование, одежду, перчатки и даже трупы подопытных животных заливали битумом или цементом и в стальных баках опускали на дно океана. Теперь некоторые баки разрушились, другие сильно повреждены. В результате на дне Атлантического океана радиоактивное загрязнение в 3—70 раз выше ожидавшегося, а на дне Тихого океана в 2—25 раз. В этих районах существуют подводные течения. Выводы читатель может сделать сам.

**Биологические источники загрязнения.** Особо следует отметить биологическую коррозию. Бактерии как бы разъедают сталь и железо глубоко под поверхностью земли, в суглинистых и глинистых грунтах. Конечно, здесь действуют опосредованные связи. Сталь и железо разъедает серная кислота, а ее синтезу в грунтах способствуют так называемые тионовые бактерии. Эти бак-

терии миллионы лет покоятся в толще грунтов в состоянии анабиоза и начинают активно действовать при поступлении в их экологические ниши свежих и обильных порций кислорода (например, при земляных работах). Другим опасным биологическим вредителем являются грибки: установлено, например, что чудесные фрески в соборе «София киевская» (XI век) существенно повреждены грибом.

Перейдем теперь к выяснению степени вреда, который наносит хозяйственная деятельность человека окружающей среде. Прежде всего необходимо пронормировать веса экологических объектов.

**Основа для нормирования весов экологических объектов** — их ранжирование. Принцип ранжирования — хозяйственная деятельность человека. Присвоив экологическим объектам номера<sup>5</sup>, получим следующую ранжированную последовательность: человек ( $i_1$ , или  $i = 1$ ); домашние животные и культурные растения ( $i_2$ , или  $i = 2$ ); промысловые животные и дикорастущие растения ( $i_3$ , или  $i = 3$ ); доминирующие и массовые виды компонентов биоценоза ( $i_4$ , или  $i = 4$ ), малочисленные виды растений и животных, нейтральных в отношении хозяйственной деятельности человека ( $i_5$ , или  $i = 5$ ).

В нашу задачу входит «взвесить» экологические объекты по признаку значимости их для хозяйственной деятельности человека.

Существуют два основных способа нормирования весов экологических объектов и загрязнителей. Первый базируется на опросе экспертов, второй — на математическом моделировании.

Способ оценки весов характеристик (объектов) любой природы на основе опроса экспертов (анкет) обстоятельно освещен в советской и зарубежной литературе. Поэтому отметим (в тезисной форме) лишь его основные особенности. Создается группа экспертов в составе 18—20 человек. Ставится задача: ранжировать экообъекты и определить их веса в фиксированном диапазоне изменения весов (например, от 1 до 0). Диапазон изменения весов условно разделяется на статистические

<sup>5</sup> Экологические объекты обозначаются буквой  $i$ . Индексы при  $i$  — номер объекта в экологической последовательности. Текущая координата экологического объекта соответственно обозначается  $i = 1, i = 2, \dots, i = n$ .



классы (например, со «ступенью» 0,1). Экспертам предлагается анкета, в которую они вносят веса каждого экологического объекта или загрязнителя. Мнения экспертов отображаются в виде вариационного ряда или гистограмм, в которых по оси  $X$  откладываются статистические классы. Вес, указанный экспертом, «попадает» в тот или иной статистический класс. По оси  $Y$  отмечается частота попадания веса в данный статистический класс. В полученном таким образом вариационном ряде определяется медиана, которую принимают за среднее значение веса по данному экологическому объекту. Согласованность мнений экспертов выясняется с помощью коэффициента конкордации. Приближение его к единице свидетельствует о полной согласованности мнений экспертов в оценке веса соответствующего объекта. Наоборот, стремление коэффициента конкордации к нулю означает отсутствие согласованного мнения. В этом случае проводится второй (третий) тур опроса.

В последние годы выявились существенные недостатки экспертных оценок. Не всегда удается создать достаточно профессионально подготовленную группу экспертов, особенно по новым проблемам; сами эксперты не всегда объективны; зачастую не удается согласовать мнения экспертов, а это значит, что возникает проблема учета особых мнений экспертов-«еретиков».

Способ нормирования весов экологических объектов на основе математического моделирования разработан в инженерном прогнозировании. Математическая модель позволяет формализовать самые общие исходные соображения экспертов в виде системы начальных условий (в них включены и чисто математические ограничения, гарантирующие однозначность нормирующей функции  $\varphi(i)$ ). Подбирается непрерывная функция, удовлетворяющая этим начальным условиям, она принимается за  $\varphi(i)$ . Предположим, что уже имеется ранжированная последовательность экообъектов и экспертам надлежит указать их веса. Эксперт, очевидно, рассуждает так: если первый член ранжированной последовательности имеет максимальный вес, то последний — вес, стремящийся к нулю. В интервале между максимумом и минимумом не может быть неожиданного возрастания или убывания веса, т. е. экстремума. Эти соображения «переводятся» на математический язык в виде трех начальных условий, т. е.

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } i = 1 \quad \varphi(i) = 1 \\ \text{при } i \rightarrow \infty \quad \varphi(i) \rightarrow 0 \\ \text{при } 1 > i > \infty \quad |\varphi(i)| > |\varphi(i+1)| \end{array} \right\} \quad (1)$$

Первое из этих условий отображает факт равенства весовой функции единице для первого ( $i=1$ ) члена ранжированной последовательности при общем числе экообъектов  $n$ . Соответственно второе условие характеризует стремление к нулю весовой функции при достаточно большом числе членов последовательности ( $i \rightarrow \infty$ ). Третье условие фиксирует отсутствие экстремума (макс или мин) между первым и последним членами последовательности, т. е. любое предыдущее значение весовой функции по модулю будет больше последующего.

Трем начальным условиям (1) удовлетворяют функции вида

$$\varphi(i) = \frac{i}{a^{i-1}}. \quad (2)$$

Наиболее общие соображения экспертов и соответствующие им начальные условия, по существу, одинаковы для ранжированных последовательностей любой природы (экология, техника, экономика). Поэтому функция (2) довольно универсальна. Но можно подобрать и функцию иного вида, также удовлетворяющую трем начальным (экспертным) условиям. Поэтому в целом функция (2) неоднозначна. Помочь делу могут следующие два чисто математических начальных условия:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \varphi(i) = \rho, \quad |\varphi(i) - \varphi(i+1)|^2 = \min. \quad (3)$$

Так как в последующем предполагается суммировать произведения  $\varphi(i)$  на некоторые постоянные или переменные величины, то необходимо позаботиться о том, чтобы ряд, составленный из этих произведений, был сходящимся (в противном случае операция была бы неправомерна в математическом смысле). Нетрудно увидеть, что ряд, составленный из значений функции  $\varphi(i) \gamma$  (где  $\gamma$  — некоторая переменная величина), действительно сходится при основании  $a=2$  (правило Даламбера). Кроме того, функция  $\varphi(i)$  при основании  $a=2$  ограничена сверху, т. е. не дает экстремума в интервале  $1 = i \leq \infty$ . Но снизу эта функция не ограничена.

Для того чтобы ее «жестко» ограничить, вводится пятое граничное условие, позаимствованное из теории регрессионного анализа. В данном случае смысл пятого ограничения в том, что квадрат разницы между значениями искомой весовой функции  $\varphi(i)$  и значениями любой другой функции в диапазоне  $1 \leq i \leq n$  (где  $n$  — фактическое число членов последовательности) должен иметь минимальное значение. Это условие опять же удовлетворяется при основании  $a=2$  (и только в этом случае). Таким образом, можно полагать, что найдена достаточно общая весовая функция, определяющая веса экологических объектов в следующей форме:

$$\varphi(i) = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad i \geq 2. \quad (4)$$

Функция выписана с ограничением  $i \geq 2$ , выходящим за рамки основной математической модели. Дело в том, что два первых члена весовой функции (без ограничения  $i \geq 2$ ) имеют одинаковые значения  $\varphi(i) = 1$  при  $i=1$  и  $i=2$ , с чем можно согласиться при оценке весов ранжированных последовательностей, относящихся к технике. В последовательности же экологических объектов первые два — «человек», «домашние животные, культурные растения» ( $i=2$ ) весьма различимы по своей природе. У них не может быть одинаковых весов: «человек» ( $i=1$ ) рассматривается как особая точка на кривой  $\varphi(i)$  (центральная в антропоцентрической системе) и этому объекту присваивается вес, по крайней мере в 2 раза больший, чем последующему, т. е. 2. Таким образом, весовая функция  $\varphi(i)$  определена во всех дискретных точках  $i=2, \dots, i=5$  за исключением начальной, в которой она имеет вес  $\varphi(i)=2$ . Из сопоставления ранжированной последовательности и формулы (4) получим следующие значения весовой функции в зависимости от номера объекта в экологической последовательности

$i=1, \varphi(i_1) = 2$  — по определению (особая точка);

$$i=2; \varphi(i_2) = \frac{2}{2^1} = 1;$$

$$i=3, \varphi(i_3) = \frac{3}{2^2} = 0,75;$$

$$i=4, \varphi(i_4) = \frac{4}{2^3} = 0,50;$$

$$i=5, \varphi(i_5) = \frac{5}{2^4} = 0,31.$$

Мы отдаем себе отчет в том, что значение  $\varphi(i)=2$  принято нами условно. Вместе с тем мы не располагаем никакими другими данными, касающимися этой проблемы. Можно лишь надеяться, что дальнейшие исследования, включая практическое применение изложенных в настоящей работе методических аспектов, позволят более точно определить «вес» человека в общей системе экологических объектов. Стоит лишь еще раз подчеркнуть, что инженерная экология базируется на признании ведущей роли человека в биоценозе.

Результаты ранжирования и нормирования весов экообъектов сводим в таблицу значений весов для основных экологических объектов (табл. 1).

Таблица 1  
Основные экологические объекты  
(характеристики)

Код	Экологические объекты	Вес объекта в ранжированной последовательности
$i_1$	Человек	2,00
$i_2$	Домашние животные и культурные растения	1,00
$i_3$	Промысловые животные и дикорастущие растения, используемые в хозяйственной деятельности человека	0,75
$i_4$	Массовые виды компонентов биоценоза, не используемые в хозяйственной деятельности человека	0,50
$i_5$	Малочисленные виды компонентов биоценоза, нейтральные в отношении хозяйственной деятельности человека	0,31

Нельзя согласиться с некоторыми природолюбями, которые считают, что нужно в равной мере оберегать и защищать все элементы биоценоза. Наши соображения, основа которых — антропоцентрическая система, если и не дают исчерпывающий ответ на вопрос, что вообще нужно защищать, то, по крайней мере, подсказывают целесообразные пути дальнейших изысканий.

Оценка степени загрязнения среды обитания. Качественная оценка степени загрязнения среды обитания.



Прежде всего необходимо найти критерий нормализации среды обитания. Руководствуясь им, можно выбрать технико-биологические средства защиты окружающей среды. Этот критерий должен быть связан со значимостью экологических объектов в биоценозе рассматриваемого региона. Для единичного объекта, очевидно, будет справедливо соотношение

$$\gamma_{\text{пр}} = \gamma_i \varphi(i), \quad (5)$$

где  $\gamma_i$  — оценка уровня токсичности (вредности);  $\varphi(i)$  — функция, нормирующая вес данного объекта в экосистеме;  $\gamma_{\text{пр}}$  — приведенная оценка токсичности данного объекта с учетом места, занимаемого им в экосистеме. В целом соотношение (5) отражает состояние отдельного экологического объекта, его, так сказать, «загрязненность», обусловленную загрязненностью его экологической ниши. Характеристику всей системы  $q$  можно получить, если просуммировать элементарные состояния, т. е.

$$q = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \varphi(i), \quad (6)$$

где  $n$  — число экологических объектов. В биологическом смысле соотношение (6) характеризует общее состояние системы, которое сложилось в регионе при данной степени загрязнения.

Теоретически можно представить некоторое предельное состояние  $q_{\text{макс}}$  системы, когда величины  $\gamma_i$  достигают для всех экологических объектов максимально возможного уровня, т. е.

$$q_{\text{макс}} = \gamma_{\text{макс}} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i). \quad (7)$$

Тогда критерий нормализации среды обитания  $B$  можно определить как отношение конкретно сложившегося состояния экологической системы к потенциально возможному, т. е.

$$B = \frac{q}{q_{\text{макс}}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \varphi(i)}{\gamma_{\text{макс}} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i)}. \quad (8)$$

Поскольку в рассматриваемой ситуации отсутствуют количественные данные, то для аттестации значений  $\gamma$

используют балльные оценки (к примеру, по пятибалльной шкале), и тогда  $\gamma_i$  обозначает оценку (балл) конкретно сложившейся ситуации, а  $\gamma_{\text{макс}}$  — максимальный балл. Выбор размерности балльной системы в рассматриваемом случае не принципиален, поскольку баллы входят в числитель и знаменатель выражения (8). Соотношение  $\gamma_{\text{пр}} = \gamma_i \varphi(i)$  теперь можно рассматривать как некоторую оценку, скорректированную по весу экологического объекта.

Все дальнейшие вычисления связаны с разработкой (для последующего использования) генеральной экологической таблицы (ГЭТ, табл. 2), в которой значения  $\gamma_i$  поставлены во взаимно однозначное соответствие с потенциально возможными экологическими ситуациями. Процедура определения критерия нормализации  $B$  — сопоставление конкретно сложившейся экологической ситуации с ГЭТ. В результате сопоставления находится текущее значение  $\gamma_i$  по каждому экологическому объекту. Значение  $\gamma_{\text{макс}}$  также определяется по ГЭТ (максимальные оценки). Таким образом, образуется информация, необходимая для определения всех значений, входящих в основное соотношение (8).

Формула (8) и ГЭТ (табл. 2) образуют алгоритм, позволяющий формализовать с помощью ЦВМ процесс определения критерия нормализации среды обитания. Для этой цели разработана программа на языке Фортран IV.

В целом состояние экологической системы в ГЭТ оценивается по 25 признакам, что больше чем достаточно. В практических расчетах можно ошибиться в неправильной оценке, например, одной позиции. Следовательно, возможная ошибка составит 4%, что в пределах точности экологических расчетов. Заметим, что максимальное значение оценок  $q_{\text{макс}}$  теперь непосредственно выводится из ГЭТ; значение  $q_{\text{макс}}$  можно получить, просуммировав последнюю строку расчетной матрицы (см. табл. 2);

$$q_{\text{макс}} = \gamma_{\text{макс}} \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i) = 5(2+1+0,75+0,50+0,31) = 22,8.$$

Из формулы (8) непосредственно следует, что максимальное значение коэффициента нормализации равно единице, т. е.  $B_{\text{макс}} = 1$ . Такое состояние возникает тогда, когда конкретно сложившаяся экологическая ситу-

Генеральная экологическая таблица (ГЭТ)  
(адаптированный вариант)

Код (номер позиции, соответствующей объекту)	Состояние среды обитания (позиция, $p$ )	Оценка вредности среды обитания для экологических объектов				
		$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$
1	Безвредная среда обитания, загрязнители воздуха, воды и почвы не накапливаются	2,0	1,0	0,75	0,50	0,31
2	Нормальная среда обитания, но загрязнители воздуха, воды и почвы постепенно накапливаются	4,0	2,0	1,50	1,0	0,62
3	Обнаруживаются случаи обратимых морфологических нарушений, не связанных с изменением генетической структуры популяции	6,0	3,0	2,25	1,5	0,93
4	Обнаруживаются случаи необратимых морфологических нарушений с изменением генетической структуры популяции	8,0	4,0	3,0	2,0	1,24
5	Предельно вредная среда обитания	10,0	5,0	3,75	2,5	1,55

ация соответствует пятой позиции по всем экологическим объектам. В этом случае  $\gamma_i = \gamma_{\max}$  и все выражение (8) вырождается в единицу. Минимальное значение коэффициента нормализации будет иметь место, когда все оценки в первой строке базисной матрицы будут равны нулю (санаторные условия для человека и условия заповедника для остальных экологических объектов). Числитель в выражении (8) становится равным нулю, и, следовательно, все выражение превращается в нуль, т. е.  $B_{\min} = 0$ . Таким образом, критерий нормализации в зависимости от состояния экосистемы изменяется в пределах от 0 до 1:

$$0 \leq B \leq 1. \quad (9)$$

Количественная оценка степени загрязнения окружающей среды. Коэффициент загрязнения окружающей среды  $G(j)$  может быть представлен как совокупность загрязнений от всех потенциально возможных загрязнителей  $s$ , отнесенная к приведенному числу загрязнителей  $m_n$ :

$$G(j) = \frac{s}{m_n}. \quad (10)$$

Исходная предпосылка для определения величины  $s$  — выяснение предельной концентрации (или плотности) загрязнителей  $p$ . Под предельной концентрацией загрязнения, как это уже принято в экологии, будем понимать отношение концентрации загрязнителя  $N$ , которое фактически сложилось в данном экологическом регионе, к физиологически допустимой концентрации  $\Phi$  для нормального существования биосферы и ее элементов (экологических объектов):

$$p = \frac{N}{\Phi}, \quad (11)$$

где  $N$  — фактическое количество загрязнителя;  $\Phi$  — физиологическая норма. Некоторые значения  $\Phi$  приводятся в табл. 3.

За последние годы в Советском Союзе проведена большая работа по выявлению физиологически предельных норм загрязнения окружающей среды, установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ (физиологические нормы) в воде, в атмосфере, почве.

Если в конкретной среде обитания появляется не



Т а б л и ц а 3  
Физиологические нормы концентрации вредных веществ  
в атмосфере населенных пунктов<sup>1</sup>

Вещества	Предельно допустимые концентрации, мг/м <sup>3</sup> , Ф	
	максимальная разовая	среднесуточная
Двуокись азота	0,085	0,085
Бензин сланцевый	0,05	0,05
Бутан	200	—
Карбофос	0,015	—
Ксилол	0,2	0,2
Метанол	1	0,5

<sup>1</sup> Таблица приводится в сокращении.

один, а несколько загрязнителей, то их совокупное действие, т. е. величина  $S$ , будет равно

$$S = \sum_{j=1}^{j=m} \frac{N}{\Phi} F(j), \quad (12)$$

где  $F(j)$  — некоторая функция, обозначающая в формальном отношении нормирование весов загрязнителей, в ранжированной последовательности из  $j$  загрязнителей. В физическом смысле функция  $F(j)$  характеризует относительную токсичность (вредность) загрязнителя.

Нормирующая функция  $F(j)$  определяется из опросов экспертов или методами математического моделирования, рассматриваемыми в работах по инженерному прогнозированию. В последнем случае значения формирующей функции  $F(j)$  определяются по формуле

$$F(j) = \frac{j}{2^{j-1}}, \quad (13)$$

где  $j$  — номер загрязнителя в ранжированной последовательности из  $m$  загрязнителей.

Таким образом, нам известны веса каждого компонента, входящего в выражение (10), т. е. известно для  $j=1$  значение  $F(j_1)$ , а для  $j=2$  известно значение

$F(j_2)$  и т. д. Следовательно, можно определить приведенное значение числа загрязнителей  $m_p$ :

$$m_p = \sum_{j=1}^{j=m} F(j). \quad (14)$$

Внося значения  $S$  из (12) и  $m_p$  из (14) в исходное соотношение (10), получим выражение для определения коэффициента загрязнения воздуха пылегазовыми загрязнителями, т. е.:

$$G_{п-г}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{п-г}}{\Phi_{п-г}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)}. \quad (15)$$

Аналогичным образом определяется коэффициент загрязнения воды жидкими загрязнителями, т. е.  $G(j)_{ж}$  (индексы при п—г, ж соответствуют в первом случае пылегазовым загрязнителям, а во втором — жидким загрязнителям).

$$G_{ж}(j) = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \frac{N_{ж}}{\Phi_{ж}} F(j)}{\sum_{j=1}^{j=m} F(j)}. \quad (16)$$

В природных условиях различные загрязнители смешиваются, образуя конгломерат. Для практических расчетов весьма важно определить степень токсичности конгломерата. В целом этот вопрос еще недостаточно изучен. Для приближенных расчетов относительная степень токсичности определена как среднее значение функции  $F(j)$ , нормирующей веса загрязнителей в ранжированной последовательности. Имеется в виду, что формула (13) дает нижнее значение функции  $F(j)$ . Верхние значения той же функции могут быть получены на основе формулы Лапласа в следующем виде:  $F(j_1) = 0,992$ ;  $F(j_2) = 0,984$ ;  $F(j_3) = 0,96$ ;  $F(j_4) = 0,884$ ;  $F(j_5) = 0,626$ ;  $F(j_6) = 0,415$  и т. д. Верхние и нижние значения функции образуют область существования относительной токсичности. Некоторые значения относительной токсичности приводятся в табл. 4.

Коэффициенты загрязнения  $G_{п-г}(j)$  и  $G_{ж}(j)$  весьма удобно определять на ЭВМ. В связи с этим разработаны программы вычислений на языке Фортран IV для ЭВМ «Минск-32».

Таблица 4

Ранжированная последовательность  
относительной степени токсичности загрязнителей

Номер в ранжиро- ванной по- следова- тельности	Загрязнители	Относительная степень ток- сичности
1	Пылегазовые и жидкие загрязни- тели, склонные к синергизму и не разлагающиеся естественным путем	0,996
2	Пылегазовые и жидкие загрязни- тели, не склонные к синергизму, но и не разлагающиеся естественным путем	0,992
3	Пылегазовые и жидкие загрязни- тели, склонные к синергизму и спо- собные самопроизвольно разлагать- ся под действием естественно-биоло- гических процессов	0,855
4	Одиночный пылегазовый или жид- кий загрязнитель с высокой степе- нью токсичности, не разлагающийся естественным образом (стойкий за- грязнитель)	0,692
5	Одиночный пылегазовый или жид- кий загрязнитель высокой степени токсичности, разлагающийся есте- ственным образом (нестойкий за- грязнитель)	0,468
6	Пылегазовые и жидкие загрязни- тели, взаимно нейтрализующиеся при смешении	0,301

Формулы (14, 15) позволяют оценить коэффициент загрязнения воздуха и воды при воздействии на них соответственно пылегазовых и жидких загрязнителей. Аналогичные формулы можно было бы записать при загрязнении других элементов биосферы другими загрязнителями (радиационное загрязнение, твердые загрязнители, тепловое и шумовое загрязнение). Возникает необходимость ввести комплексный (обобщенный) коэффициент загрязнения.

Если загрязнители рассматривать в виде некоторого  $m$ -мерного пространства, координаты которого отображаются соответствующими коэффициентами загрязнения, то комплексный коэффициент выразится в виде

геометрической суммы загрязнителей, функционирую-  
щих в биосфере:

$$G_{об} = \sqrt{G_{п-г}^2(j) + G_{ж}^2(j) + \dots + G_m^2(j)}, \quad (17)$$

где  $G_{об}$  — комплексный коэффициент загрязнения;  
 $G_m(j)$  — коэффициент загрязнения при потенциально  
возможном загрязнителе;  $m$  — число загрязнителей.

В соответствии с формулами (15) и (16) формируют-  
ся основные (базисные) оценки степени загрязнения  
среды обитания (табл. 5) и аттестационная шкала по  
оценке степени загрязнения (табл. 6).

Таблица 5

Основные (базисные) оценки степени загрязнения  
среды обитания по значимости коэффициента загрязнения  
(первый вариант оценивания)

Значение коэффициента загрязнения	Словесная оценка среды обитания
$G_{п-г}(j) < 1; G_{ж}(j) < 1$	Вполне здоровая (условия са- натория или заповедника)
$G_{п-г}(j) = 1; G_{ж}(j) = 1$	Нормальная
$G_{п-г}(j) > 1; G_{ж}(j) > 1$	Загрязненная

Таблица 6

Оценка степени загрязнения среды обитания  
при значениях коэффициента загрязнения  $G > 1$

Коэффициент загрязнения среды обитания пылегазовыми и жидки- ми загрязнителями $G(j)$	Словесная оценка степени загрязнения среды обитания
До 1,0	Безвредная
1—1,99	Малая
2—2,99	Существенная
3—3,99	Интенсивная
4—5,00	Весьма интенсивная
Более 5	Катастрофическая

В процессе подготовки настоящей работы оказалось  
возможным верифицировать табл. 6, т. е. сопоставить ее  
с фактическими событиями. Так, коэффициент загрязне-  
ния, близкий к 4,5 (т. е.  $G(j) = 4,5$ ), зафиксирован для  
Ходпвелла (США), где в 1976 г. почву и воду загрязни-



ли при производстве препарата кепоне, идущего на приготовление пестицидов. Коэффициент загрязнения, близкий к пяти ( $G(j) = 5$ ), зафиксирован в Севезо (Италия) после выброса в атмосферу значительных масс деоксин-дефолианта.

Таким образом, верхний предел для значений коэффициентов загрязнения можно соотнести со словесной (вербальной) оценкой «весьма интенсивная» степень загрязнения и количественной оценкой, равной пяти. Разумеется, значение коэффициента загрязнения в конкретных условиях может превзойти цифру 5 («катастрофическая» загрязненность). Однако это не столь важно, так как при оценке  $G(j) = 5$  уже зафиксированы случаи летального исхода.

**Примеры оценки степени загрязнения окружающей среды.** Пример 1. Определить коэффициент загрязнения воздуха атмосферы для экологического района, в котором расположены предприятия химической промышленности, выбрасывающие в воздух атмосферы пылегазовые отходы, содержащие двуокись азота (плотность загрязнения  $N = 0,128$  мг/м<sup>3</sup>), ацетальдегид —  $N = 0,021$  мг/м<sup>3</sup>, бутифос —  $N = 0,033$  мг/м<sup>3</sup>, диметиламин —  $N = 0,09$  мг/м<sup>3</sup> и изопропиловый спирт —  $N = 0,72$  мг/м<sup>3</sup>. Группа экспертов — экологи, гигиенисты, инженеры-химики — построила ранжированную последовательность упомянутых веществ в порядке вреда, который эти вещества могут причинить экологическим объектам<sup>6</sup>; по справочным данным выяснены физиологические нормы загрязнения.

Все перечисленное составляет группу исходных данных (легенду), которые помещают в первые пять графы таблицы (табл. 7). В двух других графах той же таблицы приведены отношения плотности загрязнения к физиологической норме ( $\Phi$ ) и интенсивность загрязнения в виде произведения плотности загрязнения на вес функции, нормирующей вес загрязнителя в ранжированной последовательности. Сумма  $\sum_{j=1}^{j=m} F(j)$ , входящая в знаменатель формул (15 и 16), есть не что иное, как итог по графе 4, т. е.  $\sum_{j=1}^{j=m} F(j) = 2,75$ . Таким образом,

<sup>6</sup> Здесь и дальше все приведенные исходные данные (включая «результаты опроса мнений экспертов») условны, хотя и близки к реальным.

Таблица 7

Определение коэффициента загрязнения воздуха атмосферы

Номер загрязнителя, $m$	Исходные данные (легенда)					Расчетные данные		Результаты	
	Загрязнители	Плотность загрязнения, мг/м <sup>3</sup> , $N$	Вес загрязнителя в ранжированной последовательности, $F(j)$	Физиологическая норма, мг/м <sup>3</sup> , $\Phi$	Отношение, $\frac{\Phi}{N} = \rho$	Произведение, $\rho F(j)$	Коэффициент загрязнения, $G_{n-1}(j)$	Словесная оценка степени загрязнения	Существенное загрязнение среды обитания
1	Бутифос	0,033	1,00	0,010	3,30	3,30	8	9	
2	Диметиламин	0,090	0,72	0,05	1,80	1,30			2,28
3	Двуокись азота	0,128	0,53	0,085	1,51	0,80			
4	Ацетальдегид	0,021	0,29	0,010	2,10	0,61			
$m=5$	Изопропиловый спирт	0,720	0,21	0,600	1,20	0,25			

имеются все необходимые данные для определения коэффициента загрязнения среды пылегазовыми загрязнителями. Покажем это в развернутом виде:

$$G_{п-г}(j) = \frac{\left(\frac{0,033}{0,010} \cdot 1\right) + \left(\frac{0,090}{0,050} \cdot 0,72\right) + \left(\frac{0,128}{0,085} \cdot 0,53\right)}{2,75} + \frac{\left(\frac{0,021}{0,010} \cdot 0,29\right)}{2,75} + \frac{\left(\frac{0,720}{0,600} \cdot 0,21\right)}{2,75} =$$

$$= \frac{(3,3 \cdot 1) + (1,8 \cdot 0,72) + (1,51 \cdot 0,53) + (2,1 \cdot 0,29) + (1,2 \cdot 0,21)}{2,75} = \frac{6,26}{2,75} = 2,28.$$

Сопоставляя значения коэффициента загрязнения  $(G_{п-г}(j) = 2,28)$  с табл. 6, убеждаемся в существенном загрязнении среды обитания, в необходимости немедленного оздоровления ее в данном регионе. Значения коэффициента загрязнения  $(G(j)_{п-г} = 2,28)$ , а также семантическая оценка степени загрязнения внесены в табл. 7. Такие таблицы при необходимости могут служить эталоном для официального документа, в котором сосредоточены как исходные данные, касающиеся экологической ситуации в данном районе, так и результирующие показатели — коэффициент загрязнения окружающей среды и вербальная (словесная) оценка степени загрязнения.

**Пример 2.** Определить коэффициент загрязнения воды сточными водами для экологического региона со следующей легендой:

в районе расположены нефтеочистительные заводы, а также предприятия, обрабатывающие кожу, изготавливающие бумагу и пластмассовые изделия. Сточные воды сбрасываются частично в городскую канализацию (примерно 20%), а оставшаяся часть направляется в реку без существенной очистки;

результаты наблюдений показали наличие в воде следующих загрязнителей: углеводороды — 16 мг/л, детергенты — 20 мг/л, фенол — 15 мг/л, коагулированная смола — 11,2 мг/л, фтористые соединения — 0,8 мг/л;

не удалось опросить экспертов о степени вреда, который эти вещества могут принести экологическим объек-

Таблица 8

Определение коэффициента загрязнения пресной воды сточными водами

Номер загрязня- теля, m	Исходные данные (легенда)					Расчетные данные			Результаты	
	Загрязнители	Плотность за- грязнения воды в реке, мг/л, N	Вес загрязнителей в ранжиро- ванной последо- вательности, F(i)	Физиологическая норма для рыб, мг/л, Ф	$p = \frac{\Phi}{N}$ Отношение	Произведение $p \cdot F(i)$	Коэффициенты загрязнения $G_m(i)$	Словесная оценка степени загрязнения		
1	2	3	4	5					6	7
1	Фенол	15	0,992	2,2	6,81	6,76	3,88	Весьма интенсивное загрязнение воды		
2	Фтористые соединения	0,8	0,984	0,3	2,66	2,62				
3	Углеводороды	16	0,960	3,0	5,33	5,12				
4	Коагулированные смолы	11,2	0,864	6,0	1,86	1,64				
m=5	Детергенты	20	0,626	11,0	1,82	1,14				



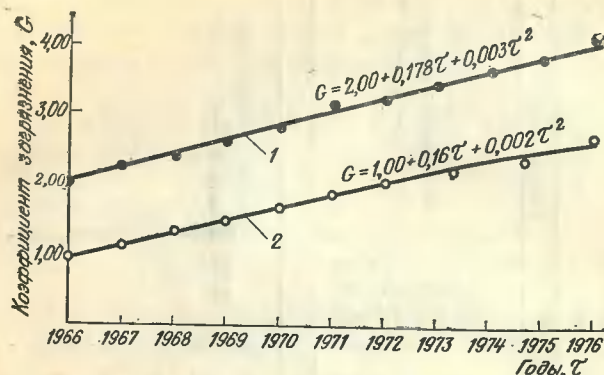


Рис. 1. Изменение коэффициента загрязнения во времени:

1 — пылегазовые загрязнители; 2 — жидкие загрязнители

там (рыбе в реке, людям и животным, пользующимся водой для питья). В связи с этим качественное ранжирование вредности веществ произведено работниками местной санитарной службы, а значение весов (в соответствии с номером загрязнителя в ранжированной последовательности) определено по формуле Лапласа. Все перечисленное выше составляет группу исходных данных, сосредоточенных в табл. 8.

При таких исходных данных коэффициент загрязнения воды составит (см. графы 6 и 7 табл. 8):

$$G_{\text{ж}}(j) = \frac{6,76 + 2,62 + 5,12 + 1,64 + 1,14}{4,45} = \frac{17,28}{4,45} = 3,88.$$

Сопоставляя полученный результат ( $G_{\text{ж}}(j) = 3,88$ ) с табл. 6, приходим к заключению, что загрязнение воды весьма интенсивно. Требуются срочные меры инженерного воздействия.

Пример 3. Предположим, что в результате систематических наблюдений выявлена плотность загрязнения и определены (как в примерах 1 и 2) коэффициенты загрязнения. Пусть имеются данные по значениям коэффициента загрязнения с ретроспективой за 10 лет (табл. 9).

Требуется проанализировать ретроспективные данные.

Прежде всего необходимо представить табличные значения в виде графика (рис. 1). Из графика следует,

что коэффициент загрязнения изменился в ретроспективе приблизительно пропорционально времени, т. е. практически линейно. Подобного рода зависимость нельзя считать «законом» и переносить ее на другие экологические регионы. В начале наблюдений (1966 г.) коэффициент загрязнения воды жидкими загрязнителями был близок к единице. В соответствии с табл. 6 такой уровень загрязнения оценивается семантически, как «безвредный» для среды обитания. В конце периода наблюдения коэффициент увеличился в 2,81 раза и загрязнение уже оценивается как «существенное».

Коэффициент пылегазового загрязнения в начале наблюдений уже составлял величину, равную 2, т. е. был на грани между малым и существенным. В конце периода наблюдений он стал равным 4,08, «весьма интенсивным». Для дальнейшего использования результаты наблюдений необходимо представить в аналитическом выражении (в функции времени). В данном случае применен метод наименьших квадратов и, таким образом, получены следующие уравнения регрессии для коэффициента загрязнения:

пылегазовые загрязнители:

$$G_{\text{п-г}}(j) = 2,0 + 0,178\tau + 0,003\tau^2,$$

жидкие загрязнители:

$$G_{\text{ж}}(j) = 1,0 + 0,16\tau + 0,002\tau^2,$$

где  $\tau$  — время в годах (для 1967 г.  $\tau = 1$ ; 1968 г. —  $\tau = 2$ ; 1969 г. —  $\tau = 3$  и т. д.).

**Модель прогнозирования.** Экологическое прогнозирование делится на два основных этапа. На первом осуществляется **качественное**, или поисковое, прогнозирование, задача которого — установить виды оборудования, необходимые для оздоровления среды обитания в том или ином экологическом регионе, и соответствующие технико-биологические мероприятия. Результаты используются как основание для докладов директивным органам, принимающим решения о перспективах развития данного промышленно-территориального комплекса, для проведения научно-исследовательских, проектно-конструкторских и проектно-технологических работ.

Второй этап — **количественное**, или инженерное, прогнозирование. Задача его — выяснение потребностей в переработке пылегазовых, жидких и твердых за-

Загрязнители	Годы				
	1966	1967	1968	1969	1970
Пылегазовые	2,000	2,180	2,360	2,562	2,763
Жидкие	1,000	1,162	1,330	1,503	1,677

грязнителей, а также прогнозирование потребностей в использовании оборудования для очистки воздуха, воды и почвы. Результаты этого этапа используются для составления долгосрочных программ оздоровления окружающей среды, а также становятся основой для разработки технических проектов.

Качественное и количественное прогнозирование существенно различаются по методическим особенностям. В соответствии с разделением прогнозов на поисковые и инженерные (качественные и количественные) формируется основная модель прогнозирования (рис. 2). Модель строится по функционально-блочному принципу. Блоки (римские цифры) и подблоки (арабские) отражают результат данного этапа прогнозирования, а связи между блоками (подблоками) раскрывают смысл аналитических или эвристических связей (уравнений, формул, матриц), на основе которых получены результаты. В такой постановке модель одновременно отражает информационные и содержательные (вычислительные) функции. На рис. 2 показаны три пары блоков:

блоки I и IV — состояние информации на входе для качественного и количественного прогнозирования соответственно;

блоки II и V — основные расчетные процедуры;

блоки III и VI — прогнозы (на выходе) для качественного и количественного прогнозирования соответственно.

Обратная связь между блоками III и I, а также VI и IV (на рис. 2 — штрих-пунктир) позволяет верифицировать и корректировать прогнозы на стадии количественного прогнозирования. Процедура верификации — это сопоставление параметрических рядов, полученных при прогнозировании потребных объемов переработки

## загрязнения окружающей среды

1971	1972	1973	1974	1975	1976
3,065	3,178	3,338	3,620	3,840	4,08
1,920	2,042	2,228	2,450	2,162	2,810

загрязнителей и парка оборудования, с фактическими для исследуемого или аналогичного экологического региона.

Задача качественного прогнозирования — установление соответствия между экологической ситуацией в данном районе в настоящее время (или потенциально возможной ситуацией в будущем) и технико-биологическими средствами, нормализующими среду обитания. Что-

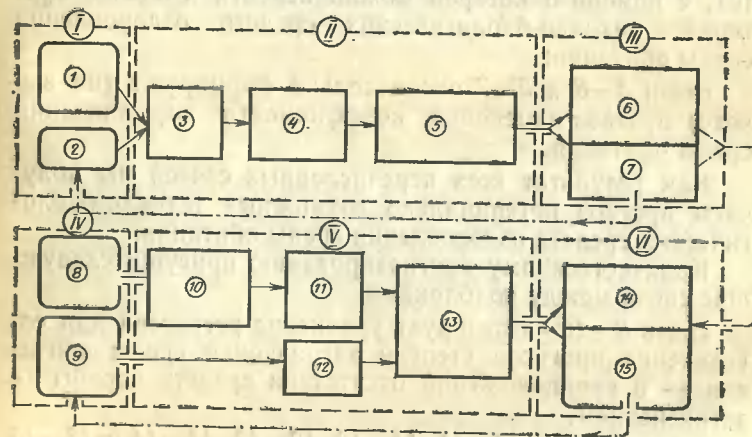


Рис. 2. Модель прогнозирования технико-биологических средств борьбы с загрязнением:

1 — ранжирование весов экологических объектов; 2 — экологическая легенда; 3 — ГЭТ; 4 — критерий нормализации среды обитания; 5 — технико-биологические средства оздоровления среды обитания; 6 — прогноз изменения критерия нормализации; 7 — прогноз мероприятий по оздоровлению среды обитания; 8 — ретроспективные данные по изменению коэффициента загрязнения; 9 — поток информации по новым технико-биологическим решениям; 10 — прогноз загрязнения среды обитания при отсутствии очистки; 11 — операторы степени загрязнения  $S_{ij}(t)$ ; 12 — операторы информационных потенциалов  $S_{ij}(t)$ ; 13 — синтез расчетных данных; 14 — прогноз объемов переработки отходов; 15 — прогноз использования парка оборудования и АСУ



бы выявить такое соответствие, необходимо исследовать некоторые промежуточные операции, в которые входят:

нормирование критерия нормализации  $B$ ;  
выяснение состава целей прогнозирования (категорий сложности технико-биологических мероприятий) и установление их связи с нормированным критерием;  
формирование состава технико-биологических средств по оздоровлению среды обитания и установление их связи с целями (категориями) прогнозирования.

Качественное прогнозирование использует прямые связи между подблоками:

связи 1—3 и 2—3 отражают процедуру сопоставления экологической ситуации в экологической легенде и в ранжированной последовательности экологических объектов с генеральной экологической таблицей (ГЭТ);  
связь 3—4 формирует значения коэффициента нормализации (8);

связь 4—5 формирует аттестационную шкалу (табл. 10), с помощью которой можно перейти к оценке критерия технико-биологических средств оздоровления среды обитания;

связи 5—6 и 5—7 окончательно формируют (на выходе) прогноз изменения коэффициента нормализации среды обитания.

Как результат всех перечисленных связей мы получаем прогноз потенциально возможных технико-биологических средств оздоровления среды обитания.

Количественному прогнозированию присущи следующие связи между подблоками:

связь 8—10 синтезирует уравнение регрессии для сопоставления прогноза степени загрязнения среды обитания — в предположении отсутствия средств борьбы с загрязнением;

связи 9—12 и 10—11, 11—13, 12—13, 13—14 и 13—15 определяют основные уравнения для прогнозирования потребности в переработке отходов и технико-биологических комплексах по охране среды обитания.

Качественное прогнозирование охраны среды обитания. Оно невозможно, пока не определен способ нормирования самого критерия нормализации  $B$ . Задача существенно облегчается тем, что верхний и нижний пределы критерия нормализации уже известны ( $B_{\min} = 0$  и  $B_{\max} = 1$ ). Следовательно, нормировать нужно в пре-

делах существования критерия  $B$ , определяемого соотношением (9).

Последовательность потенциально «возможных» технико-биологических средств охраны среды по степени загрязненности последней разделяется на 5 категорий сложности:

практически не вредная (не токсичная) для экологических объектов среда обитания (категория I);

среда обитания, которую можно привести в безвредное состояние обычной организационной деятельностью человека, без специальных технических средств (категория II);

среда, которую можно привести в безвредное состояние обычными (ранее освоенными) средствами — фильтры для газа и стандартные устройства для очистки воды и почвы (категория III);

среда, которую можно привести в безвредное состояние только с помощью системы специальных технико-биологических средств защиты (категория IV);

среда, которая приводится в безвредное состояние комплексными технико-биологическими средствами; требуется разработка комплексных программ, полное изменение технологии производства или (как крайняя мера) ликвидация предприятия — источника загрязнения (категория V).

Естественно соотнести с наибольшим значением критерия нормализации самую высокую категорию сложности технико-биологических средств охраны среды обитания. На том же основании категорию I следует соотнести с минимальным значением коэффициента нормализации. То же можно сделать и для значений коэффициента нормализации в интервале между ними. Учтя все это, строим аттестационную шкалу (табл. 10). Для более точной аттестации целесообразно для категорий III, IV, V ввести три уровня (нижний, средний, верхний) и детализировать в последней графе табл. 10 критерий нормализации, распределив его равномерно по каждому уровню категории сложности. Ориентируясь, в основном, на рубрики аттестационной шкалы, отметим следующие потенциально возможные средства охраны среды обитания.

I и II категории сложности. Особо следует сказать о технологии обратного водоснабжения. По образному выражению советского ученого М. И. Львовича, «за во-

рота предприятия нельзя выпускать ни кубометра сточной воды, а если в отдельных случаях это может понадобиться, то только для того, чтобы отработанную воду одного предприятия использовать на другом, если оно не нуждается в высококачественной воде». Иными словами, принцип замкнутого оборотного водоснабжения должен стать в ближайшее время основой промышленного водоснабжения. Опытные производства с безотходной технологией (предприятия по производству серной кислоты, сернистого газа и т. д.) в Советском Союзе уже существуют, они доказали свою рентабельность. В настоящее время технология безотходного производства внедряется на предприятиях черной металлургии.

**III категория сложности,** средства физико-химической очистки и биологической очистки, освоённые в основном промышленностью. Для разложения нерастворяющихся загрязнителей их обрабатывают гамма-лучами, затем воду выдерживают в отстойниках. Результат — чистая вода и «живой ил» (используется для производства удобрений).

Для небольших предприятий установки локальной газоочистки в ряде случаев — единственное и крайне необходимое средство снижения уровня загрязнения окружающей среды. Сегодня в нашей стране ни одно предприятие не вводится в действие без фильтров.

**IV категория сложности.** Прежде всего следует сказать о разработке и реализации автоматизированных систем управления сооружениями охраны среды обитания (АСУ СО). В Советском Союзе уже имеется удачный опыт создания таких АСУ. Например, институтом ВОДГЕО создана первая очередь АСУ по водоохранным комплексам (АСУ ВК), восемь станций контроля речной воды, шесть — сточных вод, пять местных диспетчерских пунктов и один центральный. На станциях автоматически измеряются уровень и температура воды, ее электропроводность, pH, мутность, содержание кислорода, меди, железа, аммиака и т. д. Они оборудованы средствами телемеханики для передачи информации и приема команд с диспетчерских пунктов. Годовой экономический эффект внедрения первой очереди АСУ ВК на реке Северный Донец 589 тыс. руб.

Рассмотрим более подробно основные средства оздоровления среды обитания категории IV.

Что такое самоочистка? Аэробные микроорганизмы

Таблица 10

Аттестационная шкала оценки средств технико-биологического воздействия по нормализации среды обитания

Критерий нормализации	Средства технико-биологического воздействия по нормализации среды обитания	Категория сложности	Уровень категории	Критерии нормализации по уровням категорий сложности
0,0—0,09	Практически не вредная для экологических объектов среда обитания	I	—	—
0,1—0,19	Среда обитания, которую можно привести в безвредное состояние обычной организационной деятельностью человека, без специальных технических средств	II	—	—
0,20—0,49	Среда, которую можно привести в безвредное состояние обычными (ранее освоёнными) средствами, — фильтры для газа и стандартные устройства для очистки воды и почвы	III	Нижний (Н) Средний (С) Верхний (В)	0,20—0,29 0,30—0,39 0,40—0,49
0,50—0,79	Среда, которую можно привести в безвредное состояние с помощью системы специальных технико-биологических средств защиты	IV	Нижний (Н) Средний (С) Верхний (В)	0,50—0,59 0,60—0,69 0,70—0,79
0,80—0,97	Среда, которая приводится в безвредное состояние комплексами технико-биологических средств; требуется разработка комплекса программ, полное изменение технологии производства	V	Нижний (Н) Средний (С) Верхний (В)	0,80—0,89 0,90—0,95 0,96—0,97
0,98—1,0	Ликвидация предприятия — источника загрязнения	VI	—	0,98—1,00



разлагают органические вещества. С повышением содержания органических веществ (загрязняющий фактор) интенсифицируется, в свою очередь, размножение микроорганизмов, что увеличивает расход кислорода. Но количество растворенного в воде кислорода ограничено. Поэтому при излишнем загрязнении погибают микроорганизмы, прекращается самоочистка, водоем окончательно загрязняется. Контролировать загрязнение воды — значит контролировать количество растворенного в ней кислорода.

Достаточно эффективное средство усиления защитных свойств обитателей водоемов — сооружение **окислительных прудов**. Как правило, это мелкие искусственные водоемы — примерно 0,5 га на обработку бытовых отходов 100 человек. В прудах загрязнитель превращается в вещество водорослей (фосфаты, нитраты и др.). Последние выносятся в естественную среду, где для них предусматривается соответствующее пространство и возможность включить их в пищевые цепи.

**Зоны обработки отходов атомных электростанций.** Принципиальная система, разработанная Ю. Одумом, состоит из основного накопителя теплой воды (после охлаждения атомного реактора), из которого она попадает в мелкие пруды и дождевальные установки и полностью рассеивается благодаря испарению. Это принцип борьбы с тепловым загрязнением. Слабоактивные и твердые отходы захороняют в той же зоне на специальных участках. Высокоактивные отходы вывозят из зоны в специальных контейнерах и тоже захороняют. Минимальная площадь, необходимая для 100% переработки отходов, примерно 400 га на электростанцию мощностью 2500 МВт. В капитальные затраты входит стоимость земляных работ и сооружения контейнеров, автоматизированных средств контроля состояния окружающей среды. Эксплуатационные расходы — содержание в работоспособном состоянии системы в целом и затраты на эвакуацию высокоактивных веществ.

**Методы, форсирующие естественные процессы самоочистки загрязненных вод.** При значительных коэффициентах степени загрязнения водоемов процессы естественно-биологической очистки замедляются, а иногда полностью прекращаются, особенно при загрязнении воды углеводородами (отходы нефтепереработки) и детергентами (моющие синтетические средства). Расплы-

ваясь по поверхности воды, углеводороды образуют пленку, препятствующую проникновению кислорода; моющие синтетические средства изменяют поверхностное натяжение воды. Чтобы поддержать процесс естественно-биологической очистки, используют своеобразные катализаторы — реагенты. В недалеком прошлом это были сернокислородное железо, алюминиевые добавки, хлорное железо, известь и т. д. Они не показали себя достаточно эффективными. Особые трудности возникали при дозировании реагентов-коагуляторов. Превышение норм дозировки в ряде случаев приводило к обратному эффекту, т. е. усугублялось загрязнение, уничтожались остатки биоценоза, которые еще «теплились» в среде.

В настоящее время разработаны средства, стимулирующие естественно-биологические процессы самоочистки: высокоэффективные минеральные и органические вещества — катиониты. Они вызывают коагуляцию отрицательно заряженных коллоидных частиц и тем самым нейтрализуют вредоносное действие углеводородов и детергентов. Разработана соответствующая технология водоочистки, составлен перечень технологического оборудования.

Системы для обработки сточных вод и органических отходов состоят обычно из трех подсистем: предварительной (первичной), вторичной и окончательной (третичной).

На первой стадии удаляются из сточной воды твердые компоненты — воду фильтруют через песок, осаживают от жиров, сгущают отстой, сжигают его и т. д.

На второй стадии происходит биологическое восстановление органического вещества. Микроорганизмы, находящиеся в неочищенной воде, разлагают биологические вещества таким же образом, как они делают это в почвах и донных осадках. В нашем случае мы получаем активный ил, обогащенный кислородом при механическом перемешивании и аэрации. В конце концов происходит осветление воды (седиментация); образуется вторичный осадок, который, так же как и на первой стадии, сгущают, сжигают, а золу удаляют из системы. Вторая стадия очистки дает, как правило, техническую воду, которая может с успехом использоваться в различных технологических процессах.

Полностью очищенная вода считается после оконча-

тельной (третичной) очистки, технология которой предусматривает удаление аммиака из органических соединений. В основном здесь используются коагуляционные процессы (образование хлопьев с последующим удалением осадка) и фильтрация воды через слои активированного угля. Если за единицу принять стоимость очистки воды на первичной стадии, то на стадии вторичной и третичной очистки этот условный экономический показатель соответственно составит 2 и 10.

**Категория V.** Очистительные комбинаты предназначены для одновременной и комплексной очистки и нейтрализации твердых, жидких и газообразных загрязнителей. Проект одного из таких комбинатов разработан и частично осуществлен в районе г. Запорожье. За сутки перерабатывается 1802 тыс. т отходов — 1229 тыс. т жидких, 563 тыс. т пылегазовых и 10 тыс. т твердых веществ. Технологический комплекс комбината состоит из двух основных частей: биологической очистки и физико-химической нейтрализации. На биологическую очистку направляется примерно  $\frac{1}{3}$  жидких отходов, лишенных неразлагающихся загрязнителей. Результат — около 100 т в сутки твердых продуктов, из которых изготавливается удобрительный компост.

На физико-химическую очистку и нейтрализацию идет основная масса отходов, примерно  $\frac{2}{3}$  от общей массы. Для физико-химической нейтрализации предусмотрен ряд устройств, основное из них — коллектор-реактор.

Идея физико-химической очистки — в нейтрализации загрязнителей самими же загрязнителями, для чего необходимо смешать все отходы в один конгломерат. Это происходит в коллекторе-реакторе, там же самопроизвольно развиваются физико-химические процессы нейтрализации и разложения отходов на составные компоненты. Выяснено, например, что кислые загрязнители достаточно быстро нейтрализуются щелочными — результат переходов вещества из фазы в фазу. Из них получают весьма ценное сырье для металлургической промышленности, удобрения, стройматериалы и т. д.

Вода, очищенная биологическим способом и прошедшая физико-химическую нейтрализацию, вновь направляется на предприятия, обслуживаемые комбинатом. Так на практике реализуется принцип экологизации производства.

Заводы по переработке сухих отходов функционируют как самостоятельные предприятия или входят в состав очистительных комбинатов. Экспериментальные предприятия уже функционируют в Москве. Они оборудованы магнитно-ловительными установками для извлечения из отходов железа и железистых соединений (чугун, сталь). Отдельно сепарируются резина, пластмассы, полимерные материалы и цветные металлы. Имеются установки для спекания стекла, а также камеры для сжигания безвредных веществ.

В Балтиморе, США, недавно построен завод, перерабатывающий примерно половину отходов города. Ожидается, что на этом предприятии будут получать 70 т железа и 170 т стекломассы в сутки для строительства дорог. Около 80 т обуглившихся отходов намечается использовать для улучшения структуры почвы. Продукция завода — и 7—8 т пара в день для отопления и кондиционирования воздуха в жилых домах. В Нью-Йорке планируется построить два огромных завода того же назначения. Энергия, извлеченная из отходов, поступит для снабжения городского метро и пригородных железнодорожных линий.

Японские специалисты разработали способ получения цемента из промышленных отходов, содержащих ртуть, хром и другие вредные химические вещества, опасные для окружающей среды. Используя отвердитель на основе окиси алюминия, получают цемент, который «схватывается» в течение 5—10 мин даже если содержит в 4 раза больше воды, чем уже известные сорта.

**Биологические способы переработки отходов.** Микроорганизмы «чистильщики» — простейшие, для которых вода — это среда обитания. Присутствие простейших в зоне очистки особенно ценно тем, что они способны уничтожать болезнетворные бактерии. В последние годы выполнены весьма интересные исследования по искусственному разведению инфузорий-парамеций и других простейших для очистки сточных, бытовых и промышленных вод. Исследователи, помимо использования простейших в качестве «санитаров», предвидят более широкую область их деятельности. В частности, предполагается в широких масштабах культивировать инфузории как корма личинок на рыбободных заводах. Выяснилось, что инфузории вообще весьма вкусны.

В Западной Европе, а особенно в США, в связи с не-



хваткой энергии серьезно занимаются проблемой, которая получила название биоконверсии. Суть ее в получении энергии из отходов, а также специально выращиваемых «загрязнителей» (водоросли, грибки и т. д.). Уже имеются первые результаты. Грибки превращают отходы бумаги, картона, рисовой шелухи и т. д. в ценное топливо и корм для скота. Процесс начинается с выращивания грибка в среде, содержащей целлюлозу. Через 5—10 дней отфильтрованные твердые частицы образуют концентрированную ферментную «закваску», с помощью которой за двое суток можно превратить целлюлозу в глюкозу. Затем из глюкозы ферментацией получают этанол, он в смеси с бензином (состав 5:1) дает хорошее горючее. Грибок способен превратить глюкозу в синтетическую пищу для животных, и его можно также использовать при выращивании одноклеточных богатых белком дрожжей. В качестве другой «субстанции» для биоконверсии предполагается использовать такие загрязнители, как опилки, старая древесина, навоз, сорная древесина, солома, водоросли и т. д. Описаны эксперименты с гигантской калифорнийской бурой водорослью, которая за сутки вырастает до 0,6 м.

Энергетические «урожаи» на суше могут выращиваться в районах, не пригодных для земледелия. Многие биоконверсионные процессы известны уже давно (получение древесного спирта, широко практикуемое в Китае и Индии, получение метана из экскрементов человека и животных). Новое в том, что технология переработки загрязнителей поставлена на промышленную основу и ассортимент исходного сырья расширен.

В Советском Союзе проводятся интересные работы по утилизации таких «классических» загрязнителей среды, как личинки мух. Профессор М. Н. Сухова разработала технологию выкармливания личинками свиней при массовом культивировании мух, что дает большой выход биомассы. Пищевым субстратом для выкармливания личинок служат экскременты свиней. Возникает своеобразный экологический «perpetum mobile». Это пока один из немногих примеров удачной адаптации человека (с точки зрения его хозяйственной деятельности) к существующим пищевым цепям без какого-либо их нарушения.

**Использование космической техники.** Обратим внимание читателей на большие возможности использова-

ния космической техники. В настоящее время реально два направления:

искусственные спутники Земли — для оценки степени загрязнения окружающей среды;

создание орбитальных комплексов для «переселения» на них предприятий — источников загрязнения.

Искусственные спутники, по существу, уже сегодня помогают решать проблемы оздоровления среды обитания. На них помещают приборы, способные в весьма короткие сроки предоставить данные о состоянии биосферы на значительных территориях, оценить эффективность вводимых в действие тех или иных очистных сооружений. На основе сведений, полученных при помощи спутников, оперативно создаются метеорологические карты, которые во многом отражают состояние среды обитания в экономически развитых районах.

Говоря о втором направлении использования космической техники, в первую очередь необходимо остановиться на возможности вынести за пределы Земли вторично переработанные отходы. Предлагаются различные варианты: оставить отходы на определенных, заранее выбранных околоземных орбитах, отправить за пределы Солнечной системы, сжечь в космосе или выбросить в «топку» нашего светила. В более отдаленной перспективе можно говорить о выносе на орбитальные станции предприятий или даже комплексов предприятий, которые на Земле загрязняют биосферу, и т. д.

Существует представление, что средства, затрачиваемые на сохранение среды обитания, ложатся «накладными расходами» на промышленные предприятия. Однако известно, что увеличение в 2 раза степени загрязнения атмосферного воздуха сокращает срок службы оборудования до первого капитального ремонта в среднем в 1,5 раза. В сельском хозяйстве урожайность пшеницы в зоне действия предприятий цветной металлургии на 40—60% меньше, а содержание белка в ней на 25—35% ниже обычного.

**Примеры качественного прогнозирования.** Пример 1. Определить значение критерия нормализации среды обитания и наметить инженерные средства оздоровления в экологическом регионе со следующей легендой:

в регионе размещены коксохимические заводы, предприятия по сухой переработке древесины и фабрика по

производству пестицидов. Отходы газа выбрасываются в атмосферу без предварительной очистки. Жидкие отходы сбрасываются в реку и частично в озеро также без очистки. В регионе есть все основные экологические объекты, перечисленные в табл. 1, т. е. от  $i_1$  до  $i_5$ ;

в регионе установлены многочисленные случаи необратимых морфо-физиологических нарушений, возможно, обусловленных генетическими изменениями у людей и домашних животных (экологические объекты  $i_1$  и  $i_2$ );

у промысловых диких животных ( $i_3$ ) обнаружены обратимые морфо-физиологические нарушения, по-видимому, не связанные с нарушением генетической структуры популяций;

не выявлены существенные нарушения жизнедеятельности других компонентов биоценоза, нейтральных в отношении хозяйственной деятельности человека ( $i_4$  и  $i_5$ ).

Определение критерия нормализации среды обитания экологических объектов сводится к сопоставлению ситуации, приведенной в экологической легенде, с каждым экологическим объектом, представленным в ГЭТ. В рассматриваемом случае имеем:

по экологическому объекту «человек» ( $i=1$ ;  $\varphi(i)=2$ ). Экологическая ситуация соответствует четвертой позиции ГЭТ, балл из базисной матрицы  $\gamma=4$ . С учетом веса экологического объекта  $\varphi(i_1)=2$  скорректированная оценка вредности составит

$$\gamma_{\text{ск}} = \gamma\varphi(i_1) = 4 \cdot 2 = 8;$$

по группе экологических объектов «домашние животные и культурные растения» ( $i=2$ ;  $\varphi(i_2)=1$ ). Экологическая ситуация также соответствует позиции  $P_4$  и  $\gamma=4$ . Следовательно, скорректированная по весу экологических объектов оценка вредности будет  $\gamma_{\text{ск}}=4 \cdot 1=4$ ;

по группе экологических объектов «промысловые животные и дикорастущие растения, используемые в хозяйственной деятельности человека» ( $i=3$ ;  $\varphi(i_3)=0,75$ ). Ситуация экологической легенды близка к позиции  $P_3$  и  $\gamma=3$ ; скорректированная оценка вредности  $\gamma_{\text{ск}}=3 \cdot 0,75=2,25$ ;

по группе экологических объектов «массовые виды компонентов биоценоза, не используемые в хозяйственной деятельности человека» ( $i=4$ ;  $\varphi(i_4)=0,5$ ). Ситуация экологической легенды в основном соответствует

позиции  $P_2$  и  $\gamma=2$ . Заметим, что нельзя принять позицию  $P_1$ , поскольку загрязнители накапливаются. Скорректированная оценка  $\gamma_{\text{ск}}=2 \cdot 0,5=1$ .

По группе экологических объектов малочисленные виды компонентов биоценоза, нейтральные в отношении хозяйственной деятельности человека ( $i=5$ ;  $\varphi(i_5)=0,31$ ). Ситуация также соответствует позиции  $P_2$ . Следовательно,  $\gamma=2$ , и тогда  $\gamma_{\text{ск}}=2 \cdot 0,31=0,62$ .

Теперь нетрудно подсчитать количество скорректированных баллов, которые «набрала» экологическая ситуация, представленная в легенде.

$$q = 4 \cdot \varphi(i_1) + 4 \cdot \varphi(i_2) + 3\varphi(i_3) + 2\varphi(i_4) + 2\varphi(i_5) = 4 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 0,75 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,31 = 15,87.$$

Потенциально возможное (максимальное) число скорректированных оценок определится из матрицы характеристик (правая половина табл. 2) как сумма координат последней строки (что физически означает равенство скорректированных оценок максимальным значениям для всех экологических объектов).

$$q_{\text{макс}} = 5\varphi(i_1) + 5\varphi(i_2) + 5\varphi(i_3) + 5\varphi(i_4) + 5\varphi(i_5) = 5(2+1+0,75+0,5+0,31) = 22,8.$$

При таких условиях критерий нормализации среды обитания равен

$$B = \frac{q}{q_{\text{макс}}} = \frac{15,87}{22 \cdot 8} \approx 0,70.$$

Сопоставляя критерий нормализации с аттестационной шкалой (табл. 10), приходим к выводу, что оздоровление окружающей среды должно осуществляться по высшему уровню четвертой категории сложности (т. е. необходимо разработать специальный проект очистки газообразных и жидких отходов).

Мы довольно подробно остановились на процедуре определения критерия нормализации с тем, чтобы показать методические аспекты проблемы. Фактическая процедура определения критерия  $B$  значительно короче и сводится к составлению инженерно-экологической карты. Для рассмотренного примера инженерно-экологическая карта приведена на рис. 3. Она состоит из трех расчетных и двух результирующих блоков. В блоке 1 выписан полный состав экологических объектов (взят из



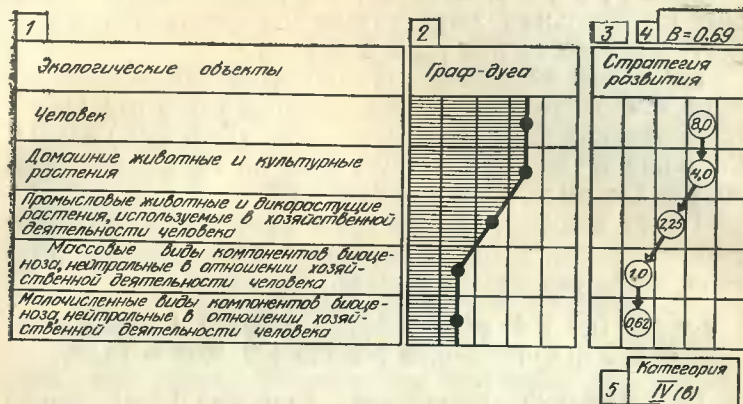


Рис. 3. Инженерно-экологическая карта

табл. 1). В блоке 2 отражены результаты сопоставления экологической легенды с ГЭТ (позиции отмечаются любыми средствами — точки, кружки, галочки, пробивки).

Обозначенные позиции можно соединить сплошной линией. Образуется своеобразный граф — дуга. Площадь фигуры левее ее (заштрихована) отражает потребность в инженерных мероприятиях для конкретно сложившейся экологической ситуации. Вся площадь блока соответствует потенциально возможным инженерным средствам оздоровления окружающей среды. Отношение этих площадей дает наглядное графическое представление о критерии  $B$ .

В блоке 3 выписаны (в кружках) значения координат из расчетной матрицы. Линия, соединяющая эти значения (стрелки), отражает в терминах инженерного прогнозирования стратегию технических мероприятий. В данном случае это стратегия оздоровления окружающей среды. Сумма координат вдоль кривой дает значение фактических оценок (числитель в формуле (8)). В результирующие блоки 4 и 5 выписывают соответственно значения критерия нормализации и категории сложности инженерных мероприятий. В скобках после римской цифры обозначен уровень категории сложности (в данном случае высшая категория сложности  $B$ ).

Бланки карт печатаются. Работа эколога сводится к проставлению отметок в блоке 2. Все остальные операции выполняет ЭВМ.

**Пример 2.** Определить значения критерия нормализации среды обитания и наметить инженерные средства оздоровления в экологическом регионе, в котором: размещены нефтеперерабатывающие предприятия, завод по переработке пластмасс, бойня. Отходы газа сжигаются, а жидкие отходы (преимущественно углеводороды и остатки моющих средств) сбрасываются по естественному ручью в реку. Имеются все основные экологические объекты, поименованные в табл. 1;

санитарные условия удовлетворительные, накопления загрязнений местными эпидстанциями зафиксировано, экологическое состояние людей ( $i_1$ ), домашних животных и культурных растений ( $i_2$ ) можно считать удовлетворительным;

обнаружены случаи обратимых морфо-физиологических нарушений, не связанных с изменением генетической структуры популяции у промысловых животных и дикорастущих растений ( $i_3$ );

установлены многочисленные нарушения морфо-физиологических функций массовых компонентов биоценоза с изменением генетической структуры популяции ( $i_4$ );

обнаружены нарушения морфо-физиологических функций с изменением генетической структуры популяции у некоторых малочисленных видов — компонентов биоценоза, нейтральных в отношении хозяйственной деятельности людей ( $i_5$ ).

Результаты сопоставления экологической ситуации, представленной в настоящей легенде, с позициями ГЭТ отражены в инженерно-экологической карте (рис. 4).

Сумма координат вдоль стратегии развития  $q=11,49$ . Максимальное значение оценок остается неизменным (таким же, как и в примере 1), т. е.  $q_{\max}=22,8$ . Стало быть, критерий нормализации  $B = \frac{11,49}{22,8} \cong 0,5$ .

Сопоставляя полученный критерий нормализации с аттестационной шкалой (табл. 10), приходим к выводу, что оздоровление окружающей среды в рассматриваемом случае также необходимо провести по категории IV, но по нижнему уровню. Следовательно, набор инженерных мероприятий менее сложен.

В соответствии с моделью прогнозирования (рис. 2) **количественное прогнозирование** использует количественные оценки степени загрязнения среды обитания.

С позиций математической статистики процесс за-



Рис. 4. Инженерно-экологическая карта

грязнения окружающей среды можно рассматривать как стохастический. Значит, можно выделить основную тенденцию процесса, т. е. тренд, и некоторую случайную компоненту, которая, накладываясь на тренд, обуславливает локальные изменения экологической ситуации. Наиболее приемлемый и хорошо адаптированный к неуправляемым процессам, а следовательно, к нюансам экологической ситуации метод прогнозирования — экстраполяция. В настоящей работе мы отметим лишь специфические особенности его применения для задач экологии. Главное в данном случае — выбор основного параметра прогнозирования. Это позволяет свести задачу к парной корреляции, т. е. фактически искать изменения главного параметра в функции времени.

Сделать это не сложно, поскольку главный параметр у нас есть, а именно коэффициент загрязнения среды обитания, зависящий от концентрации (плотности) загрязнителя и места, занимаемого этим загрязнителем в потенциально возможной последовательности загрязнителей. Таким образом, задача сводится к прогнозированию коэффициента загрязнения в данном регионе в функции времени, т. е. к решению зависимости

$$\left. \begin{matrix} G_{п-г}(j) \\ G_{ж}(j) \end{matrix} \right\} = f(t). \quad (18)$$

Искать эту зависимость можно в линейной форме (линейная регрессия)

$$G(t) = a + bt. \quad (19)$$

или в форме нелинейной регрессии, т. е.

$$G(t) = a + bt + ct^2, \quad (20)$$

где  $a, b, c$  — коэффициенты, которые нужно определить с помощью экспериментальных (ретроспективных) данных. Можно также искать зависимость  $f(t)$  в логарифмическом, экспоненциальном или в тригонометрическом виде. Однако все эти зависимости (элементарные функции) приводятся логарифмированием и простейшими подстановками к виду (19) или (20). Поэтому соотношения (19, 20) принимаются за основные<sup>7</sup>.

Определение коэффициентов  $a, b, c$  хорошо реализуется на ЭВМ.

Рассматривая в тренде время в качестве независимой переменной (аргумент), получим уравнение для прогнозирования степени загрязнения по главному фактору:

$$G(t) = G_0 + b(\Gamma_{пр} - \Gamma_{баз}) + c(\Gamma_{пр} - \Gamma_{баз})^2, \quad (21)$$

где  $G(t)$  — прогноз коэффициента загрязнения;  $G_0$  — начальное значение коэффициента загрязнения;  $b$  и  $c$  — коэффициенты регрессии;  $\Gamma_{баз}$  — год, принимаемый за начало отсчета (базисный год);  $\Gamma_{пр}$  — год, для которого составляется прогноз (год прогнозирования — аргумент).

В соответствии с моделью прогнозирования (см. рис. 2) решаются две основные задачи инженерной экологии:

прогнозируется потребность в переработке загрязнителей;

прогнозируются потребности в использовании технико-биологических средств.

Рассмотрим процесс решения этих задач, отметив предварительно следующее. Весьма заманчиво было бы решить их экстраполяционным прогнозированием, так же как и при прогнозировании степени загрязнения окружающей среды. Нужно всего только иметь достаточно «длинные» динамические ряды, характеризующие в ретроспективе предыдущие объемы переработки отходов

<sup>7</sup> Индексы опускаются.



и количество соответствующих средств, которые уже со-  
оружены в данном регионе.

Но на практике мы чаще обнаруживаем почти пол-  
ное отсутствие в данном регионе инженерно-оздорови-  
тельных объектов. Не улучшают положения и единич-  
ные объекты, из которых невозможно «склеить» динами-  
ческий ряд; в самом лучшем случае ряд получается на-  
столько «коротким», что исключает корректное примене-  
ние экстраполяции.

Мы приходим к существенному методическому выво-  
ду относительно количественного прогнозирования тех-  
нико-биологических комплексов. В то время как для  
прогнозирования степени загрязнения основным мето-  
дом прогнозирования может быть экстраполяция, для  
количественного прогнозирования технико-биологиче-  
ских комплексов применение ее фактически исключено.

Для прогнозирования инженерных объектов и техно-  
логий различного вида и назначения при отсутствии рет-  
роспективных динамических рядов в СССР разработан  
метод, основанный на определении операторов информа-  
ционных потенциалов  $\Omega_1(t)$  и операторов степени за-  
грязнения  $\Omega_2(t)$ . С необходимыми подробностями этот  
метод изложен в работе автора, к которой мы отсылаем  
читателей, желающих вникнуть в математическую суть  
вопроса. Здесь же воспользуемся результирующей ча-  
стью метода и сразу запишем основные формулы, необ-  
ходимые для решения двух упомянутых выше задач, а  
именно:

прогнозирование потребности в переработке отходов

$$Q(t) = M_0 \Omega_2(t), \quad (22)$$

прогнозирование потребности в технико-биологиче-  
ских комплексах или парка очистительного оборудова-  
ния

$$Q(t) = \frac{M_0 \Omega_2(t)}{P_0 \Omega_1(t)}. \quad (23)$$

В формулах (22) и (23) обозначено:

$Q(t)$  — прогноз переработки отходов и прогноз чис-  
ла технико-биологических комплексов или единиц обо-  
рудования;

$M_0$  — базисное (начальное) значение мощности ис-  
точника (или группы источников) загрязнения;

$P_0$  — производительность технико-биологического  
комплекса или оборудования в базисном году;

$\Omega_1(t)$  — оператор информационного потенциала  
(безразмерная величина), характеризующий новые ин-  
женерные решения по охране среды обитания (очисти-  
тельные устройства, АСУ, приборы контроля качества очи-  
стки и т. д.);

$\Omega_2(t)$  — оператор степени загрязнения (безразмер-  
ная величина), характеризующий степень загрязнения  
окружающей среды по коэффициенту загрязнения в  
форме уравнения регрессии.

В прогнозных расчетах особое значение имеет опре-  
деление операторов  $\Omega_1(t)$ ,  $\Omega_2(t)$ . Поэтому рассмотрим  
этот вопрос несколько подробней.

Оператор информационного потенциала  $\Omega_1(t)$  харак-  
теризует скорость накопления технической информации  
по конкретному виду техники или технологии (очисти-  
тельные установки, оградительные устройства, специаль-  
ные сооружения, приборы, технология очистки воды,  
воздуха, атмосферы, почвы и т. д.). Иными словами,  
оператор  $\Omega_1(t)$  отображает «задел» новых технических  
решений. Чем выше его уровень в настоящее время, тем  
более эффективна борьба за сохранность среды обита-  
ния в ближайшем и более отдаленном будущем.

Определять оператор информационного потенциала  
удобно на основе патентной информации. Оператор ин-  
формационного потенциала вычисляется по формуле

$$\Omega_1(t) = 1 + \dot{V}, \quad (24)$$

где  $\dot{V}$  — скорость накопления информации (для патен-  
тов — скорость патентования) в нарастающем по вре-  
мени итоге, т. е. кумулята.

Разработаны способы определения  $\dot{V}$ . В частности,  
при использовании патентов информационный поток  
представляется в виде тренда, который аппроксимирует-  
ся экспонентой. В результате получается формула для  
определения  $\dot{V}$ :

$$\dot{V} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \alpha}{V_{\text{пол}}} \exp [\alpha (\Gamma_{\text{пр}} - \Gamma_{\text{баз}})], \quad (25)$$

где  $V_0$  — число патентов в начале тренда;  $V_{\text{пол}}$  — число  
патентов в конце тренда;  $\alpha$  — показатель экспоненты;  
 $\Gamma_{\text{пр}}$  — год, для которого составляется прогноз (напри-

мер, 1985 год);  $\Gamma_{\text{баз}}$  — год, соответствующий началу прогнозирования (базисный год).

Для ориентировки приводим в табл. 11 значения оператора  $\Omega_1(t)$ , определенного по формуле (24) для некоторых видов технологии приборостроения.

Таблица 11

Операторы информационных потенциалов технологии приборостроения

Виды технологии приборостроения	Годы				
	1975	1980	1985	1990	2000
Операторы $\Omega_1(t)$					
Литейное производство	1,00	1,794	2,809	3,369	4,307
Штамповка	1,00	1,609	2,853	4,329	н
Переработка пластмасс	1,00	1,842	2,708	3,316	н
Механообработка	1,00	1,723	2,851	4,107	4,610
Производство интегральных микросхем	1,00	2,743	н <sup>1</sup>	н	н
Сборка	1,00	1,784	2,871	3,771	н
Порошковая металлургия	1,00	1,313	3,285	4,946	н
Производство печатных плат	1,00	2,769	н	н	н
Гальванка	1,00	1,561	2,832	4,727	5,884
Контроль и испытания	1,00	1,600	2,945	4,735	н

<sup>1</sup> н — нет данных.

В тех случаях, когда по тем или иным причинам не представляется возможным реализовать патентную информацию, допускается при приближенном прогнозировании определение операторов информационных потенциалов на основе «кривых роста» общей информации. Имеются в виду следующие соображения: если за десятилетие информация удваивается, то за 30 лет она возрастает в 6 раз (т. е.  $V_{\text{пол}} = 6$ ,  $\alpha = 0,16$ ) по сравнению с объемом информации в базисном году, принимаемым за единицу (т. е.  $V_0 = 1$ ). В таких условиях скорость будет равна

$$\dot{V} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot V_0}{6} e^{\alpha t} = 0,0534 \exp(0,16t). \quad (26)$$

Тогда оператор информационного потенциала выразится так:

$$\Omega_1(t) = 1 + 0,0534 \exp(0,16t). \quad (27)$$

В знаменателе формулы (23)  $P_0$  обозначает производительность комплекса или очистительного оборудования. Тогда произведение  $P_0$  на оператор информационного потенциала, т. е.  $P_0 \Omega_1(t)$  — изменение производительности системы или парка очистного оборудования в связи с внедрением новой техники. В частном случае, когда новая техника не внедряется ( $\dot{V} = 0$ ), оператор информационного потенциала становится равным единице и вся формула приобретает вид

$$Q(t) = \frac{M_0}{P_0} \Omega_2(t). \quad (28)$$

Оператор степени загрязнения  $\Omega_2(t)$  связан со значением мощности источника загрязнения и условием, что при  $t=0$  (т. е. при  $\Gamma_{\text{пр}} = \Gamma_{\text{баз}}$ ) мощность загрязнения соответствует базисному уровню. Это условие соблюдается, если в уравнении регрессии (21) положить  $G_0 = a = 0$ . Тогда значение оператора степени загрязнения примет вид

$$\Omega_2(t) = 1 + b(\Gamma_{\text{пр}} - \Gamma_{\text{баз}}) + c(\Gamma_{\text{пр}} - \Gamma_{\text{баз}})^2, \quad (29)$$

где, как и прежде,  $b$  и  $c$  — коэффициенты регрессии в уравнении аппроксимирующего коэффициента степени загрязнения окружающей среды.

Таким образом, имеется вся необходимая информация для решения двух упомянутых выше основных задач прогнозирования.

Обсудим результаты. Увеличение степени загрязнения соответствует возрастанию величины оператора степени загрязнения. Стоимость превентивных мероприятий растет. Рост информационного потенциала символизирует в целом повышение экономической эффективности технико-биологических средств благодаря эффективности новых объектов техники.

Принципиальная схема развития процесса загрязнения среды приведена на рис. 5. Кривая 1 — изменение



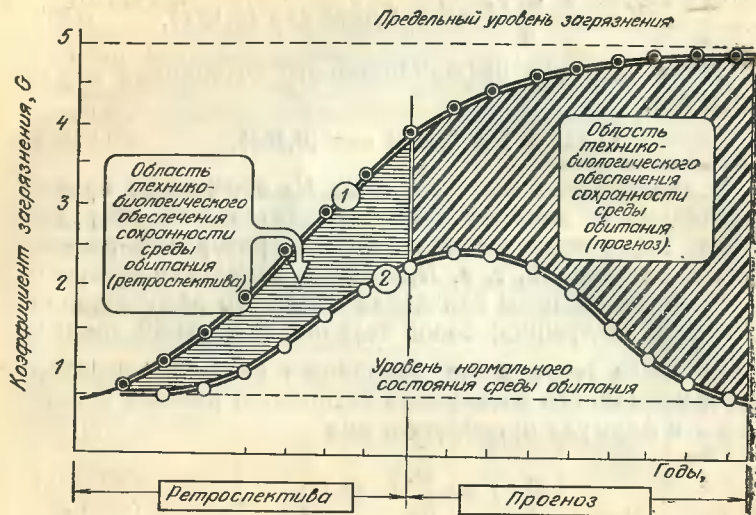


Рис. 5. Изменения коэффициента загрязнения в зависимости от технико-биологических мероприятий (принципиальная схема)

коэффициента загрязнения при отсутствии каких-либо попыток борьбы с ним. Кривая 2 — изменение коэффициента загрязнения, но в предположении, что в данном экологическом регионе осуществляются те или иные мероприятия по оздоровлению среды обитания. Характерный максимум на этой кривой отражает тот факт, что, начиная с некоторого времени, коэффициент загрязнения неуклонно снижается. Отмечен также предельный уровень, соответствующий «катастрофическому загрязнению». Пересечение трендовой кривой с прямой предельной степени загрязнения (или асимптотическое приближение к ней) может указать период времени, когда загрязнение окружающей среды окажется катастрофическим.

На графике также выделен период ретроспекции и период прогнозирования. Области между кривыми характеризуют эффективность технико-биологических мероприятий соответственно для ретроспективного и прогнозируемого периодов.

**Примеры количественного прогнозирования.** Пример 1. Допустим, что экологическая легенда кратко представляется такой:

экологический регион представлен всеми основными объектами, поименованными в табл. 1;

зафиксированы источники загрязнения атмосферы и воды;

предполагается, что в регионе в течение 10 лет велись наблюдения за изменениями коэффициента загрязнения (допустим, с 1966 по 1976 г.).

Для определенности предположим, что ретроспективные данные, характеризующие степень загрязнения окружающей среды, имеют значения, приведенные в табл. 9, как и уравнения, описывающие изменение во времени коэффициентов загрязнения окружающей среды пылегазовыми и жидкими загрязнителями.

Будем искать тренд коэффициента загрязнения в виде зависимости

$$G(t) = G_0 + bt + ct^2. \quad (30)$$

Сопоставляя уравнение с ранее полученными соотношениями, получим значения параметров регрессии (табл. 12).

Таблица 12

Загрязнители	Параметры		
	$a = G_0$	$b$	$c$
Пылегазовые жидкие	2,0	0,178	0,003
	1,0	0,160	0,002

В соответствии с уравнением (21) получим прогноз изменения степени загрязнения окружающей среды по коэффициенту загрязнения для пылегазовых и жидких загрязнителей.

1977 г.

Пылегазовые загрязнители

$$G(1977) = 2,00 + 0,178(1977 - 1966) + 0,003(1977 - 1966)^2 = 4,321.$$

Жидкие загрязнители

$$G(1977) = 1,00 + 0,16(1977 - 1966) + 0,002(1977 - 1966)^2 = 3,002.$$

1978 г.

Пылегазовые загрязнители

$$G(1978) = 2,00 + 0,178 \cdot 12 + 0,003 \cdot 12^2 = 4,568.$$

Жидкие загрязнители

$$G(1978) = 1,00 + 0,16 \cdot 12 + 0,002 \cdot 12^2 = 3,208.$$

Аналогично выполнено прогнозирование на период до 1990 г. с интервалом в 5 лет. Результаты расчетов сведены в табл. 13 и для наглядности иллюстрируются графиком (рис. 6).

Таблица 13

Прогнозирование изменения коэффициента загрязнения среды обитания

Загрязнители	Годы				
	1977	1978	1980	1985	1990
Пылегазовые	4,321	4,568	5,080	6,465	7,998
Жидкие	3,002	3,208	3,632	4,762	5,992

На рис. 6 сплошная линия соответствует грани между «весьма интенсивной» и «катастрофической» степенью загрязнения (табл. 6). Из графика следует, что пылегазовые загрязнители создадут состояние «катастрофического загрязнения» уже к 1980 г. (пересечение прямой с кривой 1). Это же состояние для жидкого загрязнителя наступит несколько позже, где-то между 1985 и 1986 гг. (пересечение прямой и кривой 2).

Пример 2. Прогнозирование потребности в переработке отходов.

Экологическая ситуация (легенда) региона характеризуется следующими исходными данными:

в регион входят все основные группы экологических объектов;

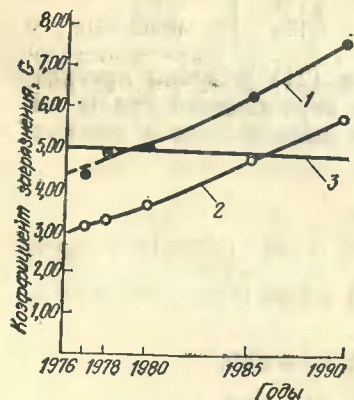


Рис. 6. Прогноз степени загрязнения окружающей среды:  
1 — пылегазовые загрязнители; 2 — жидкие загрязнители; 3 — линия коэффициента загрязнения, соответствующего катастрофическому загрязнению окружающей среды

предварительными наблюдениями выявлена (в ретроспективе за 10 предыдущих лет) динамика изменения коэффициента загрязнения воздуха, которая характеризуется регрессионной зависимостью вида  $G_{\text{в-г}}(j) = 2,0 + 0,178t + 0,003t^2$ , и сточной воды  $G_{\text{ж}}(j) = 1,0 + 0,16t + 0,002t^2$ .

Промышленные предприятия региона выделяют ежедневно 800 т пылегазовых загрязнителей и 1700 т жидких.

Исходные технические характеристики производительности очистительных агрегатов, данные, касающиеся новых технических решений по борьбе с пылегазовыми и жидкими загрязнителями, приводятся в примере расчета по мере необходимости. (Следует подчеркнуть еще раз, что в нашу задачу входит пояснение методики расчета, а не составление прогноза, относящегося к конкретному географическому району. Поэтому мы и позволяем себе пользоваться условными исходными данными как по экологической ситуации, так и по техническим характеристикам, хотя приводимые данные достаточно полно отражают «порядок цифр», с которыми могут встретиться специалисты при разработке прогнозов, «привязанных» к конкретному географическому району).

Выясним потребность в переработке пылегазовых и жидких загрязнителей, приняв 1966 г. за базисный, т. е.  $G_{\text{баз}} = 1966$ . Для этого необходимо сначала определить оператор степени загрязнения.

В соответствии с формулой (29) и отмеченными в экологической легенде регрессионными зависимостями получим следующие значения оператора степени загрязнения:

1977 г.

Пылегазовые загрязнители

$$\Omega_2(1977) = 1 + [b(G_{\text{пр}} - G_{\text{баз}}) + c(G_{\text{пр}} - G_{\text{баз}})^2] = 1 + 0,178 \cdot 11 + 0,003 \cdot 11^2 = 3,321.$$

Жидкие загрязнители

$$\Omega_2(1977) = 1 + [b(G_{\text{пр}} - G_{\text{баз}}) + c(G_{\text{пр}} - G_{\text{баз}})^2] = 1 + 0,160 \cdot 11 + 0,002 \cdot 11^2 = 3,013.$$

1978 г.

Пылегазовые загрязнители

$$\Omega_2(1978) = 1 + 0,178 \cdot 12 + 0,003 \cdot 12^2 = 3,568.$$

Жидкие загрязнители

$$\Omega_2(1978) = 1 + 0,160 \cdot 12 + 0,002 \cdot 12^2 = 3,208.$$



Аналогично определены операторы степени загрязнения окружающей среды на период до 1990 г. Результаты расчетов сведены в табл. 14.

Таблица 14

Прогнозные значения операторов загрязнения среды обитания  $\Omega_2(t)$

Загрязнители	Годы				
	1977	1978	1980	1985	1990
Пылегазовые	3,321	3,568	4,080	5,465	6,998
Жидкие	3,013	3,208	3,632	4,762	5,992

По полученным значениям оператора степени загрязнения определим по формуле (27) потребность в переработке пылегазовых и жидких загрязнителей, используя значения мощностей источников загрязнения, указанных в экологической легенде ( $M_{п-г}=800$  т/сут,  $M_{жк}=1700$  т/сут).

1977 г.

Объем переработки пылегазовых загрязнителей

$$Q(1977) = M_{о, п-г} [1 + b (\Gamma_{пг} - \Gamma_{баз}) + c (\Gamma_{пг} - \Gamma_{баз})^2] = 800 \cdot 3,321 = 2656 \text{ т/сут.}^*$$

Объем переработки жидких загрязнителей

$$Q(1977) = M_{о, ж} [1 + b (\Gamma_{пг} - \Gamma_{баз}) + c (\Gamma_{пг} - \Gamma_{баз})^2] = 1700 \cdot 3,013 = 5122 \text{ т/сут.}$$

1978 г.

Объем переработки пылегазовых загрязнителей

$$Q(1978) = 800 \cdot 3,568 = 2854 \text{ т/сут.}$$

Объем переработки жидких загрязнителей

$$Q(1978) = 1700 \cdot 3,208 = 5453 \text{ т/сут.}$$

\* Округляется до целых значений.

Данные по объемам переработки пылегазовых и жидких загрязнителей на последующие годы сведены в табл. 15.

Таблица 15

Объем переработки пылегазовых и жидких загрязнителей, т/сут

Загрязнители	Годы				
	1977	1978	1980	1985	1990
Пылегазовые	2656	2854	3264	4372	5600
Жидкие	5122	5453	6174	8095	10 244

Для составления прогноза необходимо располагать значениями операторов информационного потенциала. Напомним, что операторы информационных потенциалов в ретроспективе характеризуют научно-технические заделы по данному направлению развития техники, а в период прогнозирования эти потенциалы превращаются в потенциалы научно-технического прогресса. Как отмечалось, операторы информационных потенциалов определяются по формуле (24), в которую входит интегральная скорость потока информации  $\dot{V}$  (кумулята) и базовое значение производительности одного агрегата. Поэтому удобнее вначале определить значения кумуляты  $\dot{V}$ . Будем предполагать, что по разделам техники «очистка воздуха» и «очистка сточных вод» имеются патентные фонды, и необходимые для прогнозирования данные характеризуются следующим образом (табл. 16).

Таблица 16

Исходная информация для определения оператора информационного потенциала

Загрязнители	Характеристика патентного фонда		Производительность очистного агрегата, $\Pi$ т/сут	
	Число патентов			Показатель экспоненты $\alpha$
	$V_o$	$V_{пол}$		
Пылегазовые загрязнители (очистка воздуха)	8	90	0,16	30
Жидкие загрязнители (очистка воды)	13	110	0,18	118

Согласно этим данным получим следующие значения кумуляты и информационных потенциалов:

1977 г.

Пылегазовые загрязнители

$$\dot{V}(1977) = \frac{2 \cdot 8 \cdot \alpha}{V_{пол}} \exp [\alpha (\Gamma_{пг} - \Gamma_{баз})] =$$

$$= \frac{2 \cdot 8 \cdot 0,16}{90} \exp [0,16 (1977 - 1976)] = 0,0285 e^{0,16} = 0,0334.$$

Тогда оператор информационного потенциала

$$\Omega_1(1977) = 1 + \dot{V} = 1 + 0,0334 = 1,033,$$

Жидкие загрязнители

$$\dot{V} (1977) = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \alpha}{V_{пол}} \exp [\alpha (\Gamma_{пр} - \Gamma_{баз})] =$$

$$= \frac{2 \cdot 13 \cdot 0,18}{110} \exp [0,18 (1977 - 1976)] = 0,0426 \cdot e^{0,18} = 0,051$$

Тогда оператор информационного потенциала

$$\Omega_1 (1977) = 1 + 0,051 = 1,051,$$

1978 г.

Пылегазовые загрязнители

$$\dot{V} (1978) = 0,0285 \exp [0,16 (1978 - 1976)] = 0,0285 \cdot e^{0,32} = 0,039;$$

$$\Omega_1 (1978) = 1 + 0,039 = 1,039.$$

Жидкие загрязнители

$$\dot{V} (1978) = 0,0426 \exp [0,18 (1978 - 1976)] = 0,0426 \cdot e^{0,36} = 0,061.$$

$$\Omega_1 (1978) = 1 + 0,061 = 1,061.$$

Значения информационных потенциалов на последующие годы сведены в табл. 17.

Таблица 17

Информационные потенциалы $\dot{V}(t)$					
Загрязнители	Годы				
	1977	1978	1980	1985	1990
Пылегазовые	0,0334	0,039	0,054	0,120	0,267
Жидкие	0,051	0,061	0,087	0,215	0,530

Для удобства расчетов сведем значения операторов в одну таблицу (табл. 18).

Таблица 18

Операторы степени загрязнения и информационных потенциалов  
(к примеру 2)

Год прогнозирования	Операторы			
	Степень загрязнения, $\Omega_2(t)$		Информационные потенциалы, $\Omega_1(t)$	
	Пылегазовые загрязнители	Жидкие загрязнители	Пылегазовые загрязнители	Жидкие загрязнители
1976 (базисный)	1,000	1,000	1,000	1,000
1977	3,321	3,013	1,033	1,051
1978	3,568	3,208	1,039	1,061
1980	4,080	3,632	1,054	1,087
1985	5,465	4,762	1,120	1,216
1990	6,998	5,992	1,267	1,530

Теперь можно прогнозировать потребность в оборудовании. Будем исчислять эту потребность в единицах оборудования, не дифференцируя ее в деталях. Внося значения операторов из таблицы в формулу (23) и имея в виду значения мощности источников загрязнения, отмеченные в экологической легенде, получим:

1977 г.

Пылегазовое оборудование

$$Q (1977) = \frac{M_0 \Omega_2(t)}{P_0 \Omega_1(t)} = \frac{800 \cdot 3,321}{30 \cdot 1,033} = 86 \text{ единиц,}$$

Оборудование для очистки сточных вод\*

$$Q (1977) = \frac{M_0 \Omega_2(t)}{P_0 \Omega_1(t)} = \frac{1700 \cdot 3,013}{118 \cdot 1,051} = 41 \text{ единица,}$$

1978 г.

Пылегазовое оборудование

$$Q (1978) = \frac{26,7 \cdot 3,568}{1,039} = 91 \text{ единица.}$$

Оборудование для очистки сточных вод

$$Q (1978) = \frac{14,40 \cdot 3,208}{1,061} = 44 \text{ единицы.}$$

1980 г.

Пылегазовое оборудование

$$Q (1980) = \frac{26,7 \cdot 4,080}{1,054} = 103 \text{ единицы.}$$

Оборудование для очистки сточных вод

$$Q (1980) = \frac{14,4 \cdot 3,632}{1,087} = 48 \text{ единиц.}$$

1985 г.

Пылегазовое оборудование

$$Q (1985) = \frac{26,7 \cdot 5,465}{1,120} = 130 \text{ единиц.}$$

Оборудование для очистки сточных вод

$$Q (1985) = \frac{14,4 \cdot 4,762}{1,216} = 56 \text{ единиц.}$$

1990 г.

Пылегазовое оборудование

$$Q (1990) = \frac{26,7 \cdot 6,998}{1,267} = 147 \text{ единиц.}$$

Оборудование для очистки сточных вод

$$Q (1990) = \frac{14,4 \cdot 5,992}{1,530} = 57 \text{ единиц.}$$

\* Имеется в виду оборудование, необходимое для первичной, вторичной и окончательной очистки. Для определенности принимается производительность агрегата на стадии окончательной очистки, так как на этой стадии могут быть «узкие места», лимитирующие производительность всей системы водоочистки.



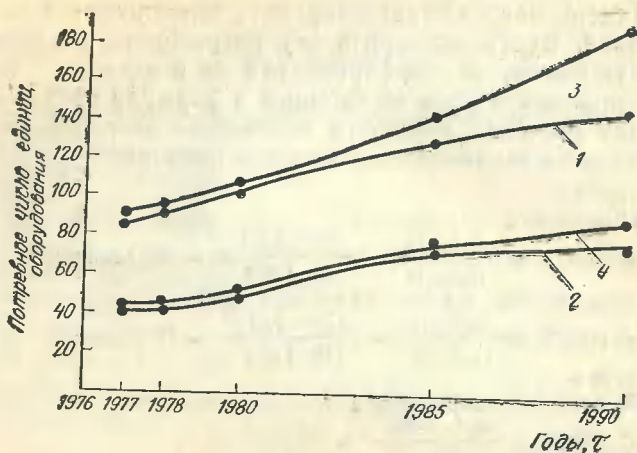


Рис 7. Параметрические ряды, характеризующие потребности в оборудовании для очистки пылегазовых и жидких загрязнителей:

1 — оборудование для пылегазовой очистки (с учетом новых технических решений); 2 — оборудование для очистки сточных вод (с учетом новых технических решений); 3 — оборудование для пылегазовой очистки, существующее в предпрогнозный период; 4 — оборудование для очистки вод, существующее в предпрогнозный период

На основе полученных результатов составляются прогнозные параметрические ряды потребности в оборудовании (рис. 7). Эти ряды учитываются при экономическом обосновании решений долгосрочного планирования оздоровления окружающей среды.

Обратим внимание читателей на то, что параметрические ряды получены без применения экстраполяционного прогнозирования. Это новый подход в методологии прогнозирования. Как правило, ретроспективные данные по использованию природоохранительного оборудования отсутствуют, что не позволяет получить параметрические ряды с помощью регрессионного анализа. Когда же ретроспективные данные имеются, возникает благоприятный прецедент для сравнения прогнозных значений по двум независимым методам и принятия соответствующего решения.

Если, прочитав эту книжку, читатель придет к выводу, что уже сегодня, при всей сложности экологической проблематики, имеются весомые технические средства и методический аппарат предотвращения загрязнения среды обитания, автор сочтет свою задачу выполненной.