

*Л.Н. Карлин, А.А. Музалевский, М.П. Федоров*

## **МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ЭЛЕМЕНТ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*L.N. Karlin, A.A. Muzalevskii, M.P. Fedorov*

## **A MODIFIED MODEL OF NATURAL-TECHNICAL SYSTEM AS PART OF AN ALTERNATIVE STRATEGY FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION**

*Предложена обобщенная модифицированная модель природно-технической системы (ПТС), в которой заметное место занимает подсистема модели — информационно-объектовая модель окружающей среды. Модель этой подсистемы коррелирует с альтернативной стратегией охраны окружающей среды, которая предусматривает наличие методов, средств, способов и приемов регулировки хозяйственной деятельности человека. На основе этой модели обосновывается возможность в режиме постоянного мониторинга отслеживать состояние и качество компонентов природной среды и во время принимать решения по управлению хозяйственной деятельностью в ПТС, обеспечивающие должный уровень экологической безопасности. Инструментом оценки и управления состоянием и качеством ПТС служат специально разработанные под эту задачу такие информационные показатели, как индикаторы, индексы и риск.*

*Ключевые слова: модель, система, природно-техническая система, альтернативная стратегия охраны окружающей среды, индикаторы, индексы.*

*In this report proposed a generalized model of a modified natural-technical system (NTS), which occupies a prominent place subsystem model — object-information of the environment. Model of this subsystem is correlated with an alternative strategy for environmental protection, which provides for methods, tools, techniques and methods of regulation of human activities. Based on this model substantiates the possibility that in the constant monitoring by such information as indicators, indices and risk can monitor the status and quality of environmental components and during management decisions that ensure the proper level of environmental safety.*

*Key words: model, system, natural-technical system, an alternative strategy for environmental protection, indicators, indices.*

### *Введение*

Интенсивный рост процессов урбанизации, появление новых технологий и многие другие факторы требуют актуализации традиционных подходов к рациональному природопользованию и охране окружающей среды. В традиционной стратегии охраны окружающей среды приоритетами являются уменьшение техногенного воздействия на природу и, по возможности, сохранение наиболее ценных ее объектов [6, 13]. Такая стратегия вследствие ускорения процессов загрязнения и деформации окружающей природной среды должна быть модифицирована, так как недостаточно эффективна и неспособна в полной мере обеспечить решение поставленных в ряде международных и российских документов задач по рациональному природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности (см., например, Экологическая доктрина России, 2002).

В рамках традиционной стратегии применялась и применяется до сих пор достаточно простая модель урбанизированной территории, подвергающейся техногенному воздействию, детализировка которой, зависела как от конкретной территории, к которой она применялась, так и той природоохранной политики, которую вели власти на местах. Эта модель выглядит так: **нагрузка — состояние — отклик...** Модель известна довольно давно и была рекомендована также конференцией в Рио-де-Жанейро в 1992 г. к широкому применению. Опирается эта модель на так называемую загрязняюще-ресурсную парадигму, базой для отчета в которой являются всем известные предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (ПДК) [6].

Уже достаточно много лет такой подход подвергается критике. Более детально анализ концепции ПДК и недостатков традиционной модели охраны окружающей среды представлены в работах [6, 13, 4]. Почти 30-ти летняя практика применения такой модели в рамках традиционной стратегии охраны окружающей среды по всему миру показала ее слабую способность объективно отразить состояние и качество компонентов окружающей среды, предсказать тренды их изменения, что затрудняет принятие адекватных управленческих решений, обуславливает их низкую эффективность и высокую финансовую стоимость. Модель нуждается в модификации и ее адаптации под цели и задачи альтернативной стратегии охраны окружающей среды [13].

Таким образом, разработка модифицированной модели ПТС, применимой к любому уровню иерархии в рамках альтернативной стратегии охраны окружающей среды и является общей задачей настоящего сообщения. Частными задачами при этом становятся задачи следующего содержания:

1. Разработать достаточно прозрачную модифицированную модель ПТС, содержащую главные направления и аспекты исследования, независимую от уровня ее применения (локального, национального, регионального и др.).
2. В новой модели ясно сформулировать требования к данным наблюдения, указав, что мы имеем на входе в систему и что получаем на выходе.
3. Четко и понятно прописать конкретные подсистемы ПТС, их взаимосвязи и взаимозависимости, в том числе и их функциональную связь.
4. В модернизированной модели ПТС оставить минимальное количество блоков, имеющих отношение к исследуемой проблеме, исключив те, которые не являются

обязательными с точки зрения оценки экологического состояния ПТС и окружающей среды.

### *Замечания по моделированию урбанизированных территорий*

Урбанизированные территории относятся к классу сложных (структурно-сложных) систем и их исследование необходимо осуществлять с использованием разработанных для этих целей специальных моделей и инструментов [6, 1, 9, 12, 15, 7]. Современное моделирование в теоретической и прикладной экологии основывается, главным образом, на системном подходе, в котором, частности, отношения (взаимосвязи) между явлениями имеют первичное, а сами явления вторичное значение [1, 9, 12, 7, 8, 11]. Чтобы избежать разночтения, для определенности скажем, что нами системный подход трактуется как совокупность идей, методов, способов, приемов и т.д., заимствованных из разных областей знаний, объединенных в единое целое — инструмент анализа и синтеза (исследования), с помощью которого мы движемся к поставленной цели и решаем сформулированные под эту цель задачи. В нашем случае имеется в виду, что сам процесс разработки модели основан на применении системного подхода.

Немаловажным всегда остается вопрос о способе введения времени в модель урбанизированной территории, если нас интересует ее эволюция [4]. При этом необходимо учитывать, что в случае медленного развития процессов изменения в антропогенном объекте (объектах) и в окружающей среде возможно применение статического приближения. Если же нас интересуют временные эффекты, то поступают следующим образом: динамика явления определяется из рядов наблюдений, составленных в хронологическом порядке, в которых данные наблюдений представляют собой то, что измерено на конкретный момент времени наблюдения. Этот метод хорошо известен и получил широкое распространение [6, 8, 11].

Прогнозирование последствий относительно быстро протекающих процессов требует отказа от статического представления и перехода к динамическому рассмотрению с привлечением дифференциальных уравнений, например, уравнения Ланжевена [4]. Этот путь на практике вследствие его сложности почти не применяется. Поэтому в таких случаях свойства объекта исследования изучаются либо по отдельным компонентам, характеризующимися достаточно заметно меняющимися параметрами, либо по концептуальным моделям.

Урбанизированная территория, как правило, — это открытая система [16]. Это значит, что в ней осуществляются переносы потоков вещества, энергии и информации и, соответственно, есть входы и выходы. Одновременно с этим часть веществ может участвовать в процессах повторно, образуя замкнутые круговороты (петли обратных связей), т.е. при моделировании урбанизированных территорий создание сквозных математических моделей (отображающих все стороны исследуемой системы) крайне затруднено, поскольку необходимо использовать многомерные модели с большим количеством переменных и соотношений между ними. Из-за громоздкости таких моделей становится неосуществимым их аналитическое исследование, усложняются задачи идентификации параметров информационного обеспечения и их проверки на адекватность [6, 4, 8, 11]. В связи с этим на практике при разработке моделей

урбанизированных территорий бывает целесообразно использовать систему частных моделей, отображающих те или иные стороны исследуемого процесса. Примерами таких частных моделей являются разработанные и применяемые на практике математические модели переноса загрязнений, позволяющие прогнозировать эволюцию загрязнений, анализировать различные сценарии развития событий, предлагать рекомендации по ликвидации последствий нежелательных явлений [6, 12, 7, 18, 17].

Предлагаемые на сегодняшний день модели, как полагают их разработчики, позволяют целенаправленно накапливать экспериментальные и теоретические данные о значимых параметрах сложной системы, а также обосновать доработку программных и технических средств анализа информации, получаемой при мониторинге различных явлений и процессов, связанных с антропогенным воздействием урбанизированной территории на компоненты окружающей среды [6, 4, 8].

Детальный анализ вопроса моделирования урбанизированных территорий для решения задач, связанных с рациональным природопользованием, охраной окружающей среды и обеспечением экологической безопасности, показывает, что многим разработанным моделям присущи некоторые общие недостатки, суть которых можно свести к следующему:

- полное отсутствие прозрачности модели, ее многоэтажность и громоздкость;
- нечеткое представление о входных и выходных параметрах модели;
- большое количество задач, которые разработчики пытаются решить с помощью одной модели, что означает ее нежизнеспособность;
- недостаточную степень структуризации и детализации экологического блока;
- отсутствие оценки полноты описания (оценки неопределенности).

Даже столь краткий анализ сложившейся в моделировании урбанизированных территорий ситуации указывает на необходимость разработки новых более современных моделей урбанизированных территорий или модернизации известных, проявивших себя неплохо в отдельных конкретных случаях.

### *Экологический аспект в модифицированной модели ПТС*

В работах [9, 10, 12, 7, 11] была предложена модель энергетического объекта, вмонтированного в природную среду, получившая название природно-техническая система (ПТС). Это модель постоянно уточнялась и совершенствовалась. Доработанный ее вариант представлен в 2007 г. в работах [9, 10, 17]. Стандартные методы оценки воздействия ПТС на окружающую среду, определение ее экологического состояния и качества используют подходы, опирающиеся на концепцию ПДК. Приоритетным направлением считалось оценка степени загрязнения окружающей среды. Иначе говоря, во главу угла ставился химический аспект. Однако ПДК по определению не являются экологическими величинами, они — санитарно-гигиенические [6, 8]. Но дело не только в этом. Так, в городах-мегаполисах, которые также являются ПТС, на сегодняшний момент наблюдается постоянное превышение ПДК по концентрации СО. Тем не менее, экологическая обстановка не считается неблагоприятной. Действительно, индекс загрязнения атмосферного воздуха, учитывающий класс опасности

загрязнителя — ИЗА, в целом не превышает допустимых значений. Но это говорит лишь о его слабой чувствительности к концентрации отдельного загрязняющего вещества (ЗВ), а также о том, что мы имеем дело с эталонами с политическим привкусом.

Как отмечено выше, ПДК отражают лишь один узкий аспект оценки экологической обстановки, а именно химический состав и концентрацию ЗВ, что составляет малую толику (около 8 %) от всей необходимой информации об экологическом состоянии и качестве объекта. ПДК имеют крайне «узкую специализацию». Если говорить об оценке экологической устойчивости и экологической уязвимости урбанизированных территорий, то тут роль ПДК недостаточна. Экологическая устойчивость ПТС рассматривалась как нечто второстепенное. ПДК практически непригодны для оценки параметров характеристик процессов, свойств и эффектов. Это всего лишь часть недостатков ПДК [18]. В этой связи для оценки качества окружающей среды и качества ПТС, а также их экологической устойчивости, нами предложена модернизированная модель ПТС и выдвинута идея использовать специально разработанные под эту задачу индикаторы и индексы качества в более широком научно-обоснованном толковании.

Таким образом, в данном случае мы принимаем во внимание взаимное влияние друг на друга сконструированной модернизированной (усовершенствованной и уточненной) модели ПТС и инструмента ее исследования.

### ***Модифицированная модель урбанизированной территории***

Модифицированная модель ПТС построена на основе синтеза двух моделей [6, 4, 8, 11]: модели геотехнической системы (хозяйственного или технического объекта — ГТС или группы объектов), вмонтированных (погруженных) в природную среду, и модели преобразованной человеком окружающей среды (ОС). При этом наиболее радикальное изменение модернизированная модель ПТС получила в той части, которая позволяет отслеживать и управлять самой ПТС и, тем самым, и качеством окружающей среды.

Источниками возникновения ПТС являются крупные города, урбанизированные территории, масштабные сооружения специального назначения: водохозяйственные и энергетические системы, электростанции, водохранилища, аэропорты, заводы, нефтяные платформы, системы каналов и шлюзов, береговые и промышленные зоны и пр. Именно в этих объектах сосредоточены все основные экологически опасные факторы, влияющие на состояние и качество ПТС, а также экологическую устойчивость входящей в состав и прилегающей к ПТС окружающей природной среды.

Подсистемы ПТС—ГТС и ОС являются открытыми системами, находящимися в состоянии постоянного взаимодействия между собой. Это взаимодействие способно привести к нарушению пространственной, временной или функциональной структуры ПТС в целом или отдельных ее подсистем, ее перестроению и последующему переходу в состояние с новыми свойствами, т.е. потере ее первоначального качества и экологической устойчивости.

В отличие от ПТС в «чистых» природных системах нет антропогенного воздействия, тем не менее, эти системы всегда формируют экологически устойчивую пространственную, временную и функциональную структуру [6, 15, 8].

Двухкомпонентная модель ПТС–ГТС (первый компонент) плюс ОС (второй компонент) [6, 1, 8, 11] с детальным учетом экологического аспекта представляется обоснованной и более управляемой по сравнению с традиционной моделью. Она может быть применена при решении широкого круга теоретических и прикладных задач, в том числе связанных с наиболее интересными научными и практическими направлениями, имеющими место при осуществлении разнообразной человеческой деятельности (организационными, технологическими, управленческими и др.), которые, так или иначе, воздействуют на ОС. Сначала обсудим кратко обе подсистемы.

**Первая подсистема — геотехническая (ГТС).** В любой геотехнической системе, рис. 1, ядром которой является технический объект, существуют два вида потоков: центростремительные и центробежные. Центростремительные потоки в системе представляют собой сырье и местные природные ресурсы, потребляемые предприятием (земля, вода из поверхностных и подземных источников, воздух). Центробежные потоки — это готовая продукция и отходы производства, поступающие в поверхностные и грунтовые воды, в почву и в атмосферу. Эти отходы мигрируют в природной среде и за счет взаимных реакций и обменных потоков, аккумулируются в соответствующих компонентах природной среды и трансформируются при протекании химических реакций. Стрелки на рис. 1 — это входы и выходы вещества, энергии и информации в ГТС [1].

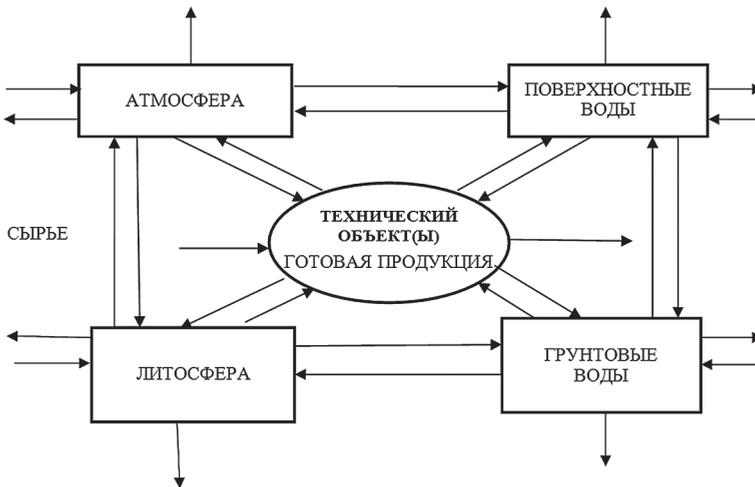


Рис. 1. Геотехническая система: «промышленное предприятие—окружающая среда»

Как видно из рис. 1, любой технический объект комплексно влияет на все элементы окружающей среды даже в нормальном (штатном) рабочем режиме [6]. Компоненты природной среды на территории ГТС (центра источника загрязнений) можно рассматривать как начало области, где формируется пограничный слой, непрерывным образом переходящий в ПТС. Важно отметить, что на урбанизированной территории (или в другом сложном объекте) возможно сосредоточение многих ГТС, как это наиболее часто имеет место в крупных городах, прибрежных зонах и в др. Тогда мы

по-прежнему будем говорить о ГТС, но не о «точечной», а о «протяженной», т.е. о ГТС более высокого уровня сложности.

**Вторая подсистема — окружающая среда (ОС).** Как отмечено выше, модель и ее структура для ОС предлагается скоррелировать с соответствующей организацией информации о ее состоянии и динамике посредством индикаторов и индексов. Эту же информацию в тех же форматах необходимо получить в дальнейшем и о ПТС в целом. Поэтому наиболее адекватной моделью ОС для этих целей, может послужить каркас модели ОС, предложенной в работах [6, 4, 8, 11]. В этой модели содержатся три главных компонента: *атмосферный воздух, вода, подстилающая поверхность*, плюс два дополнительных — *ресурсы и отходы*.

Выделим три предметные составляющие, внутри которых будет иметь смысл дальнейшее рассмотрение проблемы экологического состояния, качества и устойчивости ПТС. Такими составляющими являются: *1) физическая, 2) химическая, 3) биотическая*.

Далее сосредоточим внимание на изучении следующих 4-х направлений (аспектов), которые мы в дальнейшем будем называть **классами**. Эти классы следующие: *1) состав, 2) процессы, 3) свойства, 4) явления (эффекты)*. Сводя все вместе, получаем модель ОС, представленную на рис. 2.

Как видно из рис. 2, организационная структура и состав объектно-информационной модели ОС определяют вид и тип индикаторов и индексов, которые должны быть отображены в дальнейшем для количественной оценки состояния и качества ПТС, а также ее экологической устойчивости. Более того, эти индикаторы и индексы в дальнейшем должны быть использованы в интересах управления. Поэтому их удобнее всего формировать внутри каждого главного компонента сначала по предметным составляющим, а затем по классам.

Следующий шаг в моделировании ПТС состоит в организации инструмента ее исследования, т.е. в установлении соотношений и взаимосвязей между различными макроскопическими величинами, относящимися как к системе в целом, так и к ее подсистемам, иначе говоря, отборе и обосновании требуемых индикаторов и индексов.

Завершив моделирование двух подсистем, можно соединить полученное и представить модель более высокого уровня сложности — модель ПТС.

### *Модель природно-технической системы*

ПТС — это область урбанизированной территории, в которой проявляется антропогенное физическое, химическое и биотическое воздействие — загрязнение ЗВ на все компоненты ОС, от источников загрязнения до той области ОС, где этим воздействием можно пренебречь. Иными словами, ПТС — это переходная область между местами локализации источников опасности и той границей ОС, где это воздействие несущественно. Таким образом, ПТС — это часть объема природной среды, в которой ГТС и ОС либо сливаются, либо частично перекрываются, но в определенных самой моделью пространственно — временных границах. Можно сказать и иначе. ПТС — это структурно-сложная природно-антропогенная система, решающим образом преобразованная или искусственно созданная человеком, характеризующаяся специфическим обменом веществ, потоков энергии и информации и вновь образованными прямыми

и обратными связями. В состав ПТС входят и те прилегающие территории и объекты, которые обслуживают население путем производства энергии, промышленной и сельскохозяйственной продукции, водоснабжения, газоснабжения, складирования промышленных и бытовых отходов и т.д.

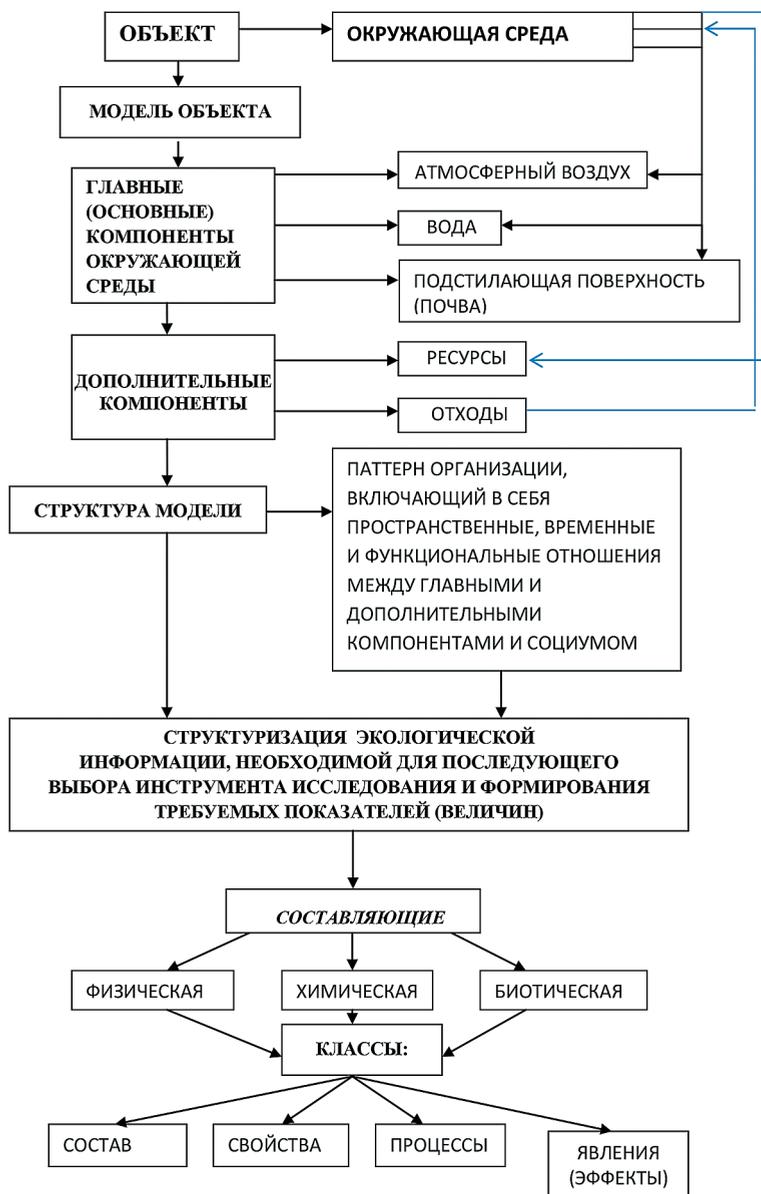


Рис. 2. Организационная структура и состав объектно-информационной модели окружающей среды

ПТС можно классифицировать на основе выбранных заранее признаков и распределить по группам (типам). Примеры разновидностей ПТС приведены в работах [9, 10, 7, 17, 11].

**Особенности ПТС:** ПТС коренным образом отличается от природных систем (экосистем) [6, 8]. Главные отличия состоят в следующем:

1. Пониженная способность к саморегуляции (самоорганизации), самовоспроизводству и самоочищению.
2. Разрушение или серьезное искажение в пределах ПТС биотической составляющей ОС как главного фактора саморегуляции природных систем.
3. Нарушение или разбалансировка информационных связей между множеством природных элементов (подсистем) ОС и искажение информации, являющейся причиной протекания процессов.
4. Необходимость постоянного подвода избыточной, сверх естественного баланса, энергии для поддержания существования и функционирования ПТС.
5. Первичная продукция ПТС составляет только долю от продукции, потребляемой населением и предприятиями на данной урбанизированной территории.
6. Микробиологическая деструкция различного рода органических отходов в ПТС большей частью сосредоточена на специальных полигонах и часто заменяется искусственным уничтожением и не используется для воспроизводства биотических компонентов.

Следующей особенностью конкретной ПТС является то, что, с одной стороны, ПТС — это источник антропогенного воздействия на ОС, обусловленного ГТС (или иными антропогенными источниками загрязнения), с другой, сама ОС способна повлиять на состояние и качество ПТС, и все это вместе взятое может повлиять на пространственную, временную или функциональную структуру как ГТС, так и ОС. Это взаимное давление может отличаться по интенсивности для различных (конкретных) ПТС. Причем, даже будучи слабым, оно способно существенно изменить состояние и качество ПТС, а значит, и ОС, что отразится на их экологической устойчивости. Иначе говоря, в таких системах имеет место существенная нелинейность [15, 11].

Для практического использования модели ПТС ее удобно рассматривать как переходную область от ядра ГТС до естественной ОС и, в первом приближении, геометрически можно представить себе как сильно сплюснутую у основания (т.е. на поверхности земли) сферу, в центре которой локализована ГТС и воздействие на ОС на всех уровнях максимально, а на расстоянии равном радиусу этой сферы воздействие ГТС на ОС пренебрежимо мало. При этом, как отмечено выше, интенсивность загрязнения ОС внутри этой сферы совсем необязательно должна меняться линейно в зависимости от расстояния от центра загрязнения. Тут сделаем оговорку. Конечно, сама ГТС погружена в ОС. Однако качество этой ОС на территории самой ГТС — это забота руководства предприятия. За пределами ГТС за качество ОС руководители предприятия, как правило, не отвечают и, естественно, за этим не следят. Наша модель не отделяет забором территорию ГТС от всего остального пространства и учитывает, что все компоненты ОС должны оцениваться от центра сферы, т.е. от мест локализации опасности, к ее границам непрерывным образом. Схематически

в упрощенном варианте пример ПТС, в которой ГТС является энергетическим объектом, приведен на рис. 3 [10, 17, 14].

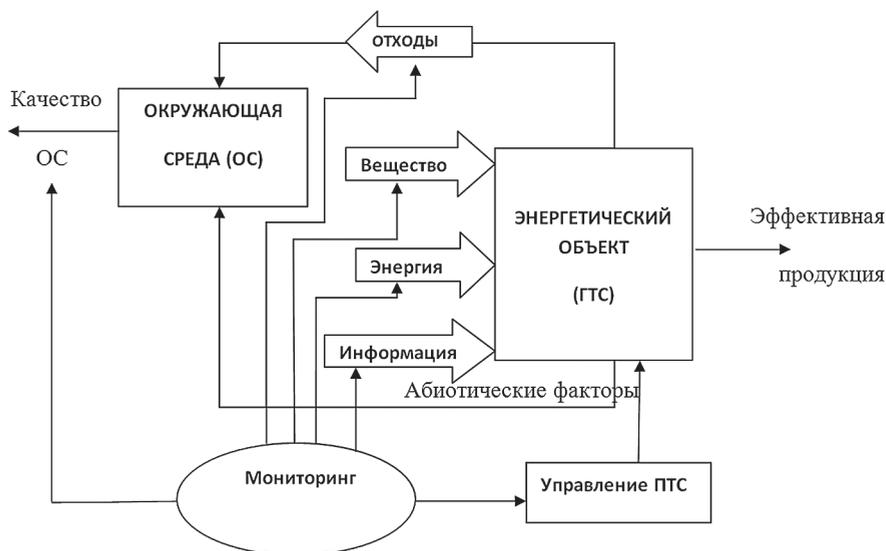


Рис. 3. Пример модели ПТС с естественными и искусственно возобновляемыми энергетическими, материальными и информационными ресурсами

На рис. 3 обозначены блок: «Мониторинг» и блок «Управление ПТС». Эти блоки (подсистемы), входящие в состав модели ПТС, очень важны. Блок (подсистема) «Мониторинг» (рис.4) сформирован таким образом, чтобы система принятия решений была обеспечена данными, преобразованными в индикаторы и индексы, в форме понятной лицу, принимающему решение (ЛПР) и могла быть использована в целях управления. Блок «Управление» на входе будет получать информацию в форматах агрегированных, интегральных и комплексных индикаторов и индексов, что обеспечит управляемость ПТС как с точки зрения экологической устойчивости и уязвимости самой ПТС, так и точки зрения управления качеством самой ОС [8]. Иначе говоря, техногенную нагрузку на ОС, экологическое состояние и качество самой ОС или ее отдельного главного компонента, а также экологическую устойчивость и экологическую уязвимость ПТС в целом можно регулировать посредством индикаторов и индексов [11].

Управление, может быть организовано двумя способами: первый из них — силовой, второй — параметрический. Но и в том, и в другом случае все технические, технологические и административные мероприятия, с помощью которых нейтрализуется или минимизируется негативное антропогенное воздействие, влияющее на экологическое состояние и экологическую устойчивость ПТС, планируются и применяются на основе информации, сформированной на основе индикаторов и индексов, представленной в форматах, понятных для ЛПР.

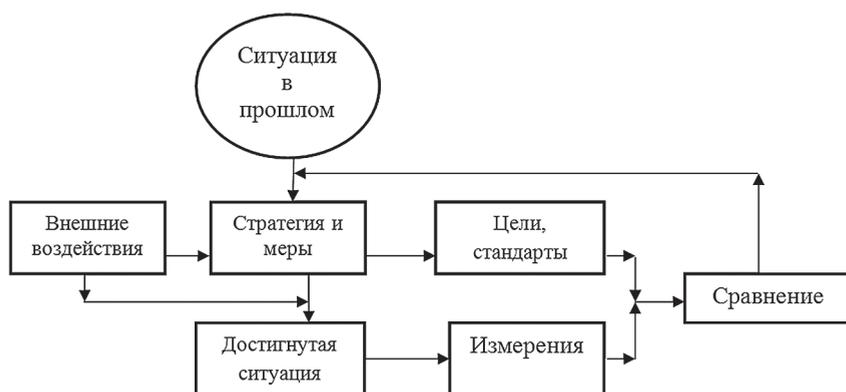


Рис. 4. Детализовка подсистемы ПТС блока «мониторинг»

### **Обсуждение модели ПТС**

Сопоставим предложенную модифицированную модель ПТС с традиционными моделями. Преимущества модифицированной модели состоят в следующем:

1. В модернизированной модели ПТС уровень описания, задаваемый индикаторами и индексами, макроскопический. Этот уровень описания вполне достаточен для принятия управленческих решений, так как в подавляющем большинстве случаев нас интересуют не точные значения конкретных величин, а тренды. Точность (погрешности), обеспечиваемая уровнем описания, не превышает пределов точности, разрешенных руководящими документами (РД).
2. Жизнеспособность новой модели ПТС обеспечивается ее гибкостью, что делает задачу управления ПТС реальной.
3. Степень структуризации и детализации экологического блока в модернизированной модели ПТС вполне достаточна для целей управления как самой ПТС, так и управления качеством ОС.
4. По поводу отсутствия оценки полноты описания (оценки неопределенности) можно сказать следующее. Публикуемые в официальных отчетах материалы об экологической обстановке (например, ежегодные отчеты Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга) основаны в подавляющем числе случаев только на данных, полученных в рамках одной составляющей — химической, внутри одного класса — «состав» малоинформативны.

Этот недостаток практически устраняется, если провести исследование так, как это заложено в модель. Действительно, в рамках предлагаемой модели минимальное количество показателей, которые нужны для оценки экологической обстановки равно 36 — три предметных составляющих умножить на три главных компонента и умножить на четыре класса.

Если же мы отслеживаем только, например, качество атмосферного воздуха в химической составляющей в классе «состав», что чаще всего и происходит в рамках традиционной модели, то это всего 1/36 от полного объема требуемой информации. Привлечение данных для оценки экологической обстановки по воде и почве в том же классе «состав» — все равно оставляют высокую степень неопределенности, так как это 1/12 информации от ее полного объема, что по-прежнему недостаточно.

В традиционной модели менее, чем требуется запросами практики, исследуются процессы и их нарушения, еще более редко изучаются свойства исследуемого объекта и, наконец, неоправданно мало внимания уделяется исследованию явлений (эффектов), имеющих место в атмосферном воздухе крупных городов, появившихся в результате хозяйственной деятельности. Здесь необходимо уточнить сказанное. Речь идет не о том, что не хватает информации в классах «процессы», «свойства», «явления», а о том, что эта информация принимается во внимание и используется для последующей оценки экологического состояния в гораздо меньшем объеме по сравнению с тем, который предлагает модернизированная модель ПТС (рис. 5).

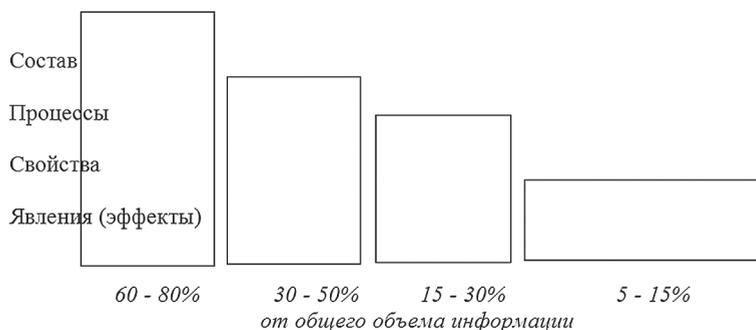


Рис. 5. Примерное процентное соотношение объема информации по классам, привлекаемой для оценки экологической обстановки атмосферного воздуха в крупных городах

### *Заключение*

В первоначальном варианте, до модификации, разработанная модель ПТС неоднократно успешно применялась на практике и показала свою жизнеспособность [10, 17, 14, 11]. Так, например, при портостроительстве в г. Приморске (Ленинградская область) модель ПТС в старом варианте была учтена при прокладке первой нитки нефтепровода из г. Кириши в г. Приморск [7].

Такое положение дел сохранялось примерно до 2005–2007 гг., когда запросы практики относительно проводимых оценок экологического состояния урбанизированных территорий и их экологической устойчивости резко повысились в плане полноты описания ПТС. Необходимо также было расширить сферу применения этой модели и саму модель модифицировать так, чтобы управление ПТС стало возможным в большей степени, чем это было в традиционной модели. Модифицированная модель ПТС с детальной проработкой экологической подсистемы позволяет обеспечить более высокий уровень

управляемости ПТС. Это подтверждено применением модели ПТС в ее модернизированном варианте к оценке экологического состояния и качества компонентов природной среды в Краснодарском крае при создании новой, современной ПТС в районе г. Сочи, что позволило выработать ряд практически важных предложений по совершенствованию и реализации экологической политики при подготовке к Олимпиаде «Сочи 2014» [5].

Если осторожно признать, что биосфера постепенно заменяется биотехносферой, как это обозначено в работе [13, 17, 14], то это обстоятельство приобретает все более важное значение в формировании новой альтернативной стратегии охраны окружающей среды.

### Литература

1. *Воробьев О.Г., Реут О.Ч.* Геотехнические системы: генезис, структура, управление. — Петрозаводск: ПетрГУ, 1994. — 82 с.  
*Vorobjev O.G., Reut O.Ch.* Geotechnicheskie sistemy: genesis, struktura, upravlenie. — Petrozavodsk: PetrGU, 1994. — 82 s.
2. *Горшков В.Г.* Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды. // Итоги науки и техники. Серия: Теоретические и общие вопросы географии. — Москва: ВИНТИ, 1990. — 237 с.  
*Gorshkov V.G.* Energetika bioshery i ustoychivost sostojanija okruzaushei sredy. // Itogi nauki i tehniki. Serija: Teoreticheskie i obshchie voprosy geographii. — Moskva: VINITI, 1990. — 237 s.
3. *Карлин Л.Н., Музалевский А.А.* Индикаторы ESI и EVI в экологической оценке исследуемых территорий. VI Международная научная конференция «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». 2–4 июля 2012. Санкт-Петербург. // Материалы конференции, с. 123–125.  
*Karlin L.N., Muzalevskii A.A.* Indicators ESI i EVI v ekologicheskoi otsenke issleduemyh teritotii. VI Mejdunarodnaja nauchnaja konferentsija «Ekologiceskie i gidrometeorologicheskie problemy bolshih gorodov i promyshlennyh zon». 2–4 julja 2012. S aint-Petersburg. // Materily konferentsii, c. 123–125.
4. *Музалевский А.А.* Новые подходы к решению проблемы обеспечения экологической безопасности окружающей среды на основе новой экологической парадигмы. 3-я Евроазиатская конференция по транспорту. Санкт-Петербург. 10–13 сентября 2003 г. // Сборник научных статей «Пути решения экологических проблем транспортных коридоров». — СПб., 2003, с. 301–330.  
*Muzalevskii A.A.* Novyepodhody k resheniu problem obespechenija ekologicheskoi bezopasnosti okruzaushei sredy na osnove novoi ekologicheskoi paradigmy. 3-ja Evroaziatskaja konferentsija po transportu. Saint-Petersburg. 10–13 sentjabrja 2003 g. // Sbornik nauchnyh statei «Puti reshenija ekologicheskikh problem transportnyh koridorov». — SPb., 2003, s. 301–330.
5. *Музалевский А.А., Карлин Л.Н.* Экологические риски: теория и практика. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 448 с.  
*Muzalevskii A.A., Karlin L.N.* Ekologicheskie riski: teorija i praktika. — SPb.: RGGMU, 2011. — 448 s.
6. *Музалевский А.А.* Экология. Учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2008. — 604 с.  
*Muzalevskii A.A.* Ekologija. Uchebnoe posobie. — SPb.: RGGMU, 2008. — 604 s.
7. *Федоров М.П., Шилин М.Б.* Основные концепции современного берегопользования. Том 2. Под ред. Карлина Л.Н., Денисова В.В., Шилина М.Б. Глава 1: Прибрежные природно-технические системы: принципы формирования, устойчивость, экологическая безопасность. — СПб.: РГГМУ, 2010, с. 8–43.  
*Fedorov M.P., Shilin M.B.* Osnovnye kontseptsii sovremennogo beregopolzovanija. T. 2. Pod red. Karlina L.N., Denisova V.V., Shilina M.B. Glava 1: Pribrejnnye prirodno-tehnicheskie sistemy: printsipy formirovanija, ustoychivost, ekologicheskaja bezopasnost. — SPb.: RGGMU, 2010, s. 8–43.
8. *Потанов А.И., Карлин Л.Н., Воробьев В.Н., Музалевский А.А.* Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Часть 3. Оценка и управление качеством окружающей среды. Научное, учебно-методическое, справочное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2005. — 289 с.  
*Potapov A.I., Karlin L.N., Vorobjev V.N., Muzalevskii A.A.* Monitoring, control i upravlenie kachestvom okruzaushei sredy. Chast 3. Otsenka i upravlenie kachestvom okruzaushei sredy. Nauchnoe, uchebno-metodicheskoe, spravochnoe posobie. — SPb.: RGGMU, 2005. — 289 s.

9. Федоров М.П., Масликов В.И. Принципы создания природно-технических систем в возобновляемой энергетике. // Труды СПБГТУ, 2007, № 502, с. 306–316.  
*Fedorov M.P., Maslikov V.I. Printsipy sozdanija prirodno-technicheskikh sistem v vozobnovljaemoj energetike. // Trudy SPBG TU, 2007, № 502, s. 306–316.*
10. Федоров М.П., Масликов В.И. Природно-технические системы в энергетике. // Известия РАН. Сер. Энергетика, 2006, № 5, с. 7–16.  
*Fedorov M.P., Maslikov V.I. Prirodno-technicheskie sistemy v energetike. // Izvestija RAN. Ser. Energetika, 2006, № 5, s. 7–16.*
11. Федоров М.П., Музалевский А.А. Индикаторы и индексы в моделировании природно-технических систем. // Биосфера, 2013, т. 5, № 3, с. 16–25.  
*Fedorov M.P., Muzalevskij A.A. Indikatory i indeksy v modelirovanii prirodno-technicheskikh sistem. // Biosfera, 2013, t. 5, № 3, s. 16–25.*
12. Федоров М.П., Романов М.Ф., Руховец Л.А., Максимов Ю.Д. Математические методы и модели в экологии. Учебное пособие. — СПб.: изд. СПБГТУ, 2007. — 302 с.  
*Fedorov M.P., Romanov M.F., Ruhovets L.A., Maksimov U.D. Matematicheskie metody i modeli v ekologii. Uchebnoe posobie. — SPb.: izd. SPBG TU, 2007. — 302 s.*
13. Федоров М.П., Суздалева А.Л. Экологическая оптимизация гидроэнергетики как альтернативная стратегия охраны окружающей среды. // Гидротехническое строительство, 2014, № 3, с. 10–16.  
*Fedorov M.P., Suzdaleva A.L. Ekologicheskaja optimizacija gidroenergetiki kak alternativnaja strategija ohrany okrujajucej sedy. // Gidrotechnicheskoe stroitelstvo, 2014, № 3, s. 10–16.*
14. Федоров М.П., Шилин М.Б., Горбунов Н.Е., Блинов Л.Н. Экологические основы управления природно-техническими системами. — СПб.: изд. СПБГТУ, 2008. — 505 с.  
*Fedorov M.P., Shilin M.B., Gorbunov N.E., Blinov L.N. Ekologicheskie osnovy upravlenija prirodno-technicheskimi sistemami. — SPb.: izd. SPBG TU, 2008. — 505 s.*
15. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. Пер. с англ. Ю.А. Данилова. — М.: Мир, 1991. — 239 с.  
*Haken G. Informacija i samoorganizacija. Makroskopiceskii podhod k slojnym sistemam. Per. s angl. U.A. Danilova. — M.: Mir, 1991. — 239 s.*
16. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. Динамическая теория информации. — М.: Наука, 2001. — 244 с.  
*Chernavskij D.S. Sinergetika i informacija. Dinamicheskaja teorija informacii. — M.: Nauka, 2001. — 244 s.*
17. Экологические основы управления природно-техническими системами. Учебное пособие. Под ред. Федорова М.П. — СПб.: изд. СПБГТУ, 2007. — 504 с.  
*Ekologicheskie osnovy upravlenija prirodno-technicheskimi sistemami. Pod red. Fedorova M.P. — SPb.: izd. SPBG TU, 2007. — 504 s.*
18. Экоинформатика. Теория. Практика. Методы и Системы. Под ред. Акад. РАН В.Е. Соколова. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 522 с.  
*Ekoinformatika. Terija. Praktika. Metody i sistemy. Pod red. Akad. RAN V.E. Sokolova. — SPb.: Gidrometeizdat, 1992. — 522 s.*