

ЭКОЛОГИЯ

Л.Н. Карлин, А.А. Музалевский, Е.А. Яйли

**О ДВУХ КОНЦЕПЦИЯХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ
И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ: АНАЛИЗ И СОПОСТАВЛЕНИЕ**

L.N. Karlin, A.A. Muzalevskij, E.A. Yayli

**ABOUT TWO CONCEPTS OF AN ENVIRONMENT COMPONENTS
ASSESSMENT IN LARGE CITIES AND INDUSTRIAL ZONES:
THE ANALYSIS AND COMPARISON**

Представлены и проанализированы две концепции оценки качества атмосферного воздуха в больших городах, в промышленных и береговых зонах – традиционной и новой, разработанной авторами данной статьи. Выявлены недостатки и преимущества рассматриваемых подходов. Указано на целесообразность дальнейшего развития индексной квалиметрии и методологии риска, обеспечивающих более высокую степень полноты описания состояния и качества контролируемого объекта, а также простоту интерпретации получаемого конечного результата, что удобно для систем принятия решений.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, концентрации, техногенная нагрузка, модели, интегральные показатели, качество, индикаторы, индексы, риск, неопределенность, системы принятия решений.

In the message two concepts of an assessment of atmospheric air quality in the big cities and industrial zones are presented and analysed. Lacks and advantages of considered approaches are revealed. It is specified in expediency of the further development index qualimetry and methodology of the risk, providing higher degree of completeness and simple on interpretation of a received end result.

Key words: polluting substances, concentration, technogenic loading, models, indicators, integrated indicators, quality, indices, risk, uncertainty, decision-making systems.

Введение

Объективная и полная оценка экологической обстановки в крупных городах и промышленных зонах, назовем их урбанизированными территориями (УТ) – проблема, остающаяся на сегодняшний день пока не решенной. В нашем распоряжении не так уж много средств и методов, с помощью которых можно было бы решить эту проблему на заданном уровне рассмотрения в рамках приемлемой погрешности.

В настоящее время в подавляющем числе городов мира, в промышленных и береговых зонах, а также практически на всех других территориях, применяются методики оценки качества атмосферного воздуха, появившиеся еще в пятидесятых годах прошлого века. А в качестве базы для отсчета приняты нормативы тридцатых годов. Таковую ситуацию нельзя не признать не тревожной. И объяснения этому лежат не только в научной плоскости. Однако эти аспекты лежат вне рамок настоящей статьи.

В сообщении с позиций анализа и сопоставления представлены две концепции решения этой проблемы. Первая – это традиционная, применяющаяся в настоящее время в повседневной практике [Потапов, 2006; РД52.04.186–89; 1991; Ежегодник..., 2009; Музалевский, 2008].

Вторая – индикаторно-рискологическая концепция, основанная на идеологии индексной квалиметрии разрабатываемая авторами настоящей статьи [Музалевский, 2003, 2008].

1. Концепция, основанная на загрязняюще-ресурсной парадигме, ПДК и двух моделях: а) модель контролируемой территории: «нагрузка–состояние–отклик», б) модель аддитивной опасности.

Модели. Модель контролируемой территории: «нагрузка–состояние–отклик» наиболее распространена и повсеместно применяется при оценке качества главных компонентов природной среды, особенно в больших городах, промышленных и береговых зонах. В этой модели обычно рассматриваются все стационарные источники загрязнения, расположенные на контролируемой территории, способные повлиять на качество атмосферного воздуха. Затем исследуется химический состав выбросов от этих источников и их интенсивность. Как правило, при этом учитываются климатические, ландшафтные и архитектурные особенности всей инфраструктуры контролируемой территории. При полном исследовании этого вопроса во внимание принимаются также экологическая емкость территории и ее способность к самоочищению. Стационарные источники выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в этом случае обычно рассматриваются как точечные.

Особым источником ЗВ следует рассматривать автомобильный транспорт. Объем выбрасываемых в атмосферный воздух ЗВ от автомобильного транспорта составляет в настоящее время в таких городах, как Москва и Санкт-Петербург более 90% от общего объема всех выбрасываемых ЗВ. Этот источник загрязнения – протяженный и неоднородный, и его следует рассматривать детально, так как хорошо известно, что в больших городах есть всегда очень сложные участки, где автомобильные пробки не рассасываются в течение всего дня.

Этот вид транспорта сосредоточен, в основном, на рассматриваемой территории и как бы «размазан» по этой территории. Важно то, что он присутствует всегда и даже в ночные часы его плотность спадает только в интервале времени примерно 0–5 ч утра. Есть, конечно, чистый транзитный транспорт, разумеется,

есть приезжающие в город автомобили, пребывающие в нем некоторое время и уезжающие из него. Детальный анализ по этому вопросу проводился многократно, и соответствующие данные можно найти в специальной литературе [Потапов, 2006].

После анализа всех источников выброса ЗВ рассчитывается техногенная нагрузка (первый блок модели). Общепринятых стандартизированных методик тут не просматривается, хотя в целом в них есть много общего. Но есть и существенные различия, приводящие к резко отличающимся результатам. Этот момент вызывает напряженность, особенно при расчете объемов трансграничных переносов и загрязнениях воздушных и водных систем. Так, к примеру, российские и европейские ученые весьма сильно расходятся во мнении, кто же больше всего загрязняет акваторию Балтийского моря.

Если все же принято решение об объемах техногенной нагрузки, то есть определено состояние (второй блок модели), формулируются третий блок этой модели – отклик. Под откликом понимается совокупность мероприятий и последовательность их исполнения для минимизации последствий недопустимой техногенной нагрузки, если такая выявлена.

Далее кратко вопрос обстоит так. Системы, ответственные за проведение экологической политики, в рамках своей компетентности, с учетом имеющихся в их распоряжении средств, осуществляют планирование необходимых мероприятий, которые следует проводить либо однократно, либо в некотором интервале времени, либо постоянно. К числу таких постоянных мероприятий относится наблюдение за качеством атмосферного воздуха на контролируемой территории. Тем самым реализуется обратная связь между качеством компонента природного объекта и действиями систем управления, влияющими на это качество.

Оценки полученных по данным наблюдения представляются в виде специальных показателей, формируемых на основе модели аддитивной опасности. Эта модель в разных версиях достаточно часто используется при окончательной количественной оценке экологического состояния того или иного объекта. Суммирование опасностей, исходящих от источников ЗВ, может быть проведено разными способами. На практике применяется простой вариант суммации нормированных концентраций всех ЗВ. Конечно, это возможно, если ЗВ не вступают между собой в химические реакции. Очевидно, что при этом не учитываются возможность образования вторичных, но новых ЗВ, эффект воздействия которых на человека не всегда известен.

Применяемая в настоящее время методика оценки качества атмосферного воздуха. Смысл известных методов оценки состояния атмосферного воздуха состоит в том, что содержание (концентрация, выраженная в $\text{мг}/\text{м}^3$) каждого из загрязняющих веществ (ЗВ) сопоставляется с базовым уровнем, за который принимается уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) на предмет соответствия, на основании чего делается окончательный вывод. Сами ПДК периодически пересматриваются и уточняются. Сейчас в Санкт-Петер-

бурге применяются нормативы ПДК, период утверждения которых относится к 2003–2006 гг. Этот подход традиционен и применяется на протяжении уже нескольких десятилетий в подавляющем большинстве стран Европы, Азии, Америки и России. Он основан на применении простых соотношений и модели аддитивной опасности, выраженной, например, формулой Аверьянова.

Согласно формуле Аверьянова сумма относительных концентраций ЗВ не должна превышать единицы, то есть

$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + C_3 / \text{ПДК}_3 + \dots + C_N / \text{ПДК}_N \leq 1. \quad (1)$$

В формуле (1) C_i – концентрация контролируемого ЗВ; ПДК_i – предельно допустимая концентрация этого же ЗВ.

В применении к оценке качества атмосферного воздуха различают три основных типа ПДК: $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ – среднесуточное, $\text{ПДК}_{\text{см}}$ – среднемесячное, $\text{ПДК}_{\text{сг}}$ – среднегодовое. Если неравенство (1) при подстановке всех трех типов ПДК выполняется, то экологическая обстановка на контролируемой территории по атмосферному воздуху считается благополучной [РД52.04, 1991; Ежегодник, 2009]. Не все выбрасываемые ЗВ одинаково опасны для человека. Длительные наблюдения за состоянием здоровья населения и международный опыт позволил выявить около двадцати неорганических веществ, которые в приоритетном порядке следует отнести к опасным ЗВ. По целому ряду причин это число сокращено примерно втрое и к настоящему времени применительно к оценке состояния атмосферного воздуха выделяют следующие шесть (иногда пять) приоритетных ЗВ:

1. диоксид серы (SO_2), 2. диоксид азота (NO_2), 3. оксид углерода (CO), 4. озон (O_3), 5. оксид азота (NO) (иногда – соединения свинца), 6. пыль (четыре разновидности).

Таким образом, в формуле (1) для оценки состояния воздуха по рекомендуемым стандартам необходимо принять $N = 5$ или 6.

Что касается органических соединений, то по сложившейся во всем мире практике они отслеживаются только в том случае, когда для этого есть основания. Как правило, такие наблюдения проводятся только по специальному указанию.

На этой базе построены все современные методы оценки экологической обстановки по атмосферному воздуху и сформированы такие показатели, как ПДВ и другие аналогичные величины.

Сейчас наиболее часто в роли показателей состояния и качества атмосферного воздуха выступают следующие:

ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций примесей. Поэтому считается, что ИЗА характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха.

СИ – стандартный индекс, наибольшая измеренная розовая концентрация примеси, деленная на ПДК. Он определяется из данных наблюдения на посту за

одной примесью или на всех постах рассматриваемой территории за всеми примесями за месяц или за год.

НП – наибольшая повторяемость (в процентах) превышения ПДК одной из примесей за месяц или за год по данным наблюдения.

Комплексный **ИЗА** $I(n)$, учитывающий n загрязняющих веществ, рассчитывается по формуле

$$I(n) = \sum I_i = \sum q_{cp,i} / \text{ПДК}_{c.ci} C_i, \quad (2)$$

где $q_{cp,i}$ – среднегодовая концентрация i – ЗВ; $\text{ПДК}_{c.ci}$ – его среднесуточная ПДК; C_i – безразмерный коэффициент, позволяющий привести степень вредности ЗВ к степени вредности диоксида серы.

Значения C_i равны 1,5; 1,3; 1,0; и 0,85 соответственно для 1, 2, 3 и 4 классов опасности ЗВ.

ИЗА рассчитываются для одинакового количества веществ, и как сказано выше, обычно для пяти или шести.

В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения атмосферы считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, СИ < 5, НП < 20%, высоким при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10, НП от 20 до 50% и очень высоким при ИЗА равном или больше 14, СИ > 10, НП > 50%.

Программы наблюдений и методы определения концентраций примесей описаны в [РД52.04, 1991; Ежегодник, 2009].

Укажем на основные недостатки применяемого подхода:

1) ограниченные возможности объектовых и информационных моделей, привлекаемых для описания экологического состояния и качества объектов;

2) показатели, применяемые в настоящее время не являются экологическими, характеризуют, в основном, химический состав, базируются на соотношениях типа (1), что заметно влияет на полноту и объективность описания состояния и качества исследуемого объекта;

3) недостаточное внимание к параметрам, характеризующие процессы, свойства и явления (эффекты), происходящие в контролируемом объекте.

4) слабая научная обоснованность базы для отсчета (ПДК) и недостаточная чувствительность применяемых показателей;

5) отсутствие возможности сопоставления результатов, полученных на основе этих показателей с другими, характеризующими объект в том же аспекте, например, с риском.

6) плохая совместимость применяемых показателей с требованиями, выдвигаемыми системами принятия решений, а именно – простота интерпретации и возможность принятия оперативных решений на их основе.

Слабым местом является также неэффективность существующих систем управления всех уровней в сфере экологии по вертикальной шкале [Музалевский, 2008].

В этой связи учеными и специалистами многих стран мира, в том числе и в России, активно разрабатываются новые, более совершенные методы оценки состояния и качества главных компонентов окружающей природной среды, способные обеспечить большую полноту получаемой информации и, по возможности, свободную от недостатков, указанных выше. Ниже излагается в кратком варианте подход, развиваемый авторами настоящей статьи [4–8].

2. Концепция индексной квалиметрии

Руководящая идея. Эта концепция базируется на идеях индексной квалиметрии. Индексную квалиметрию можно определить как область знания, содержащую теорию измерения и оценку качества как по частям, так и в целом объектов, феноменов и процессов в заданном пространстве, в интересующем нас интервале времени с помощью индексов.

Индексная квалиметрия способна дать число, вариации которого указывают на увеличение или уменьшение величины, не допускающей точного измерения. Иначе говоря, квалиметрическое измерение трактуется шире, чем "точное" научное физическое или техническое измерение и поэтому может рассматриваться как приближенное, но более точное, чем, например, индекс загрязнения атмосферы ИЗА или воды - ИЗВ.

Методология индексной квалиметрии содержит следующие позиции:

1. Индексная квалиметрия опирается на научное и интуитивное определение понятия качества.
2. Индексная квалиметрия опирается на аппарат индексов.
3. Индексы фиксируют изменения качества компонентов природной среды, а не абсолютное значение уровня качества.
4. Методология индексной квалиметрии определяет и обосновывает базу для отсчета, то есть формирует эталон (стандарт) качества.
5. Применяет процедуру "нормировки".
6. Применяют процедуру "осреднения".
7. Определяют способы свертки индексов с целью получения агрегированных показателей качества. Агрегатные (сложные, например, комплексные) индексы представляют собой конкретизацию выражения изменений качества.
8. Индексы качества отслеживают ситуацию по изменению качества от одной временной и пространственной точки к другой.
9. Индексная квалиметрия строит многофакторные индексы, объединяющие показатели изменения качества разных по своей природе феноменов и процессов.

Однако прежде чем проводить оценки с использованием идей индексной квалиметрии, мы должны построить модель объекта. Прежняя рассмотренная выше модель в данном случае не годится по многим причинам. Поэтому применительно к развиваемой идеологии нами создана новая, объектно-информационная модель контролируемой территории (модель УТ), учитывающая все особенности развиваемого подхода.

Объектно-информационная модель урбанизированной территории (УТ)

Прежде всего, мы выделили предметные составляющие. В соответствии с тем, чем богата наука на сегодняшний день, таких предметных составляющих три:

1) физическая, 2) химическая, 3) биотическая.

Далее в каждой предметной составляющей необходимо рассматривать следующие направления (аспекты), которые мы назвали классами. Их четыре:

1) состав, 2) процессы, 3) свойства, 4) явления.

В качестве объектов исследования выступают три главных компонента окружающей природной среды:

1) атмосферный воздух, 2) вода, 3) подстилающая поверхность.

Техногенная нагрузка на УТ приводит к изменению ее пространственной, временной и функциональной структуры, что выражается в изменениях параметров или характеристик в каждом из указанных четырех классов. Обнаруженные изменения (отклонения) можно связать со специально вводимыми экологическими индикаторами, назначение которых, в общем случае, состоит в фиксации обнаруженных новых свойств или явлений (эффектов) и индексов, описывающих отклонения от уровня, принимаемого за базовый. В роли базового эталона может быть выбран эталон качества – набор признаков, характеризующих качество неурбанизированной территории по направлениям: состав, свойства, процессы, явления.

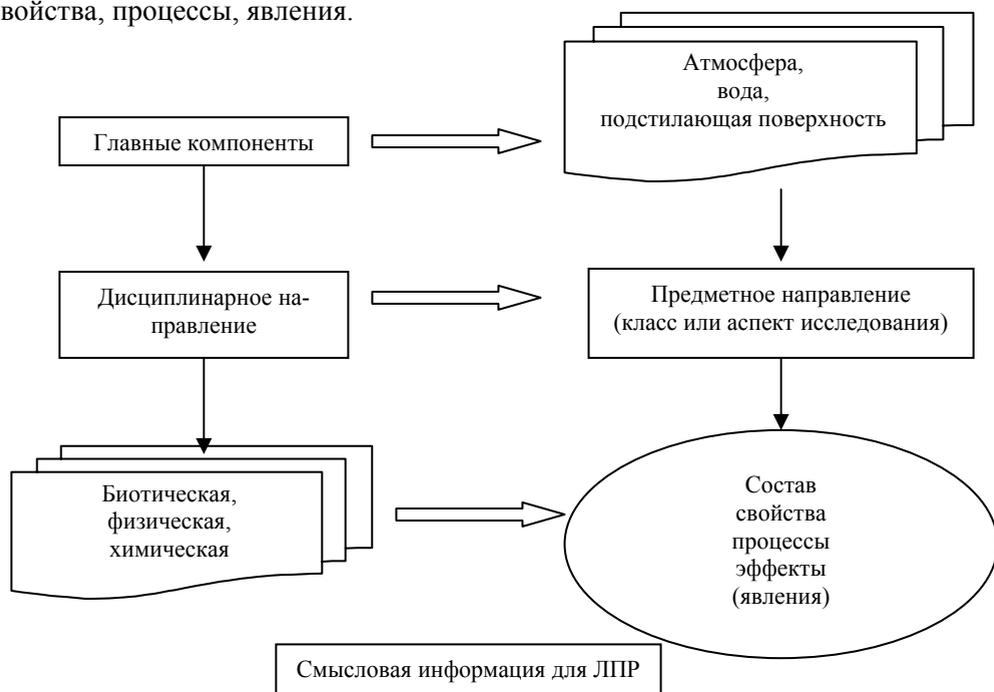


Рис. 1. Объектно-информационная модель УТ

Отыскание и обоснование таких признаков, в принципе, решаемая задача. Для каждой конкретной УТ эти признаки могут быть разными, зависимости от особенностей УТ. Так, для прибрежных зон эти признаки в обязательном порядке должны включать рекреационные показатели, а также показатели, связанные с морской и транспортной деятельностью этих территорий.

При этом надо помнить, что отыскание признаков, на основе которых возможна количественная оценка состояния и качества компонентов природной среды на УТ по каждой из составляющих необходимо проводить на основе наблюдения и сопоставления контрольных (измеряемых) и эталонных (установленных) параметров внутри каждого из 4-х направлений (классов).

Таким образом, в предлагаемом подходе объектно-информационная модель УТ приобрела достаточно ясный и конкретный вид (рис. 1), что позволяет четко и корректно сформулировать задачу оценки состояния и качества компонента природной среды, договорившись при этом заранее о желаемой полноте описания, а также об уровне описания и степени применяемого приближения [Музалевский, 2008].

Введенная модель позволяет адекватно оценить полноту описания экологического состояния и качества рассматриваемого объекта. Как будет показано ниже, помимо универсальности в иерархическом плане, то есть в рамках вертикальной шкалы, представленная модель обладает еще целым рядом преимуществ. Важнейшее из них состоит в том, что с ее помощью можно достичь требуемой ясности и простоты интерпретации информации, представляемой в систему поддержки принятия решений, что очень важно для систем принятия решений.

Некоторые математические формулы, термины и их определения

В нашем подходе *индекс* – это величина, построенная из *индикаторов*. Иначе говоря, индикаторы являются теми "элементарными" кирпичиками, из которых формируются индексы и, в частности, индексы, с помощью которых отслеживаются изменения в качестве компонентов природной среды.

При этом под индикатором понимается численное значение выбранной величины, мера свойства или мера параметра какой-либо характеристики процесса при условии, что данная величина удовлетворяет установленным правилам отбора [Музалевский, 2008].

Количественно индикатор подсчитывается по формуле:

$$\beta_i = (M_i - F_i) / C_i . \quad (3)$$

В этой формуле C_i – измеренная концентрация ЗВ; i – его номер; M_i – эффективное значение концентрации конкретного ЗВ, например, это может быть ПДК рабочей зоны и т. д.; F_i – фоновое значение (в качестве F_i может выступать ПДК, но не обязательно).

Качество природной среды или ее отдельных компонентов может быть оценено на основе сопоставления признаков качества контролируемой системы

с системой, выступающей в роли эталона и выявления отклонений при проводимом сопоставлении.

Для проведения такой оценки качества принцип сопоставления требует наличия рядом с исследуемым объектом достаточно чистого участка неурбанизированной территории, например, охраняемой территории, экологические параметры которой можно рассматривать как базовые. В пределах этой "чистой" территории за уровень отсчета можно принять в случае, если нас интересует химическая составляющая и класс состав, набор значений некоторых параметров, например, концентраций ЗВ по одному из следующих вариантов:

- 1) фоновые значения концентраций по всем измеряемым ингредиентам;
- 2) значения ПДК;
- 3) значения, равные разности ПДК и фоновых концентраций соответствующих ингредиентов.

Рассмотрим, к примеру, как можно построить индекс качества применительно к проблеме описания состояния и качества атмосферного воздуха на урбанизированной территории (УТ).

Отберем некоторое количество параметров в какой-либо составляющей, главном компоненте и конкретном классе и проведем их измерение на не УТ. Пусть их число равно n_{ij} . Индексы i и j относятся к предметной составляющей и соответствующему классу. Это число будем трактовать как количество базовых признаков качества, одновременно указывая при этом их численные значения. Затем в тех же условиях, той же аппаратурой проведем измерение тех же параметров на контролируемой территории, и пусть число измеренных параметров, имеющих значения ниже или равное фоновым значениям параметров, которые можно назвать совпавшими, при сравнении с базовыми, оказалось равным m_{ij} . Тогда простой индекс качества определим следующим образом:

$$\mu_{ij} = m_{ij} / n_{ij}, \quad (4)$$

где n_{ij} – число полных признаков качества; m_{ij} – число совпавших при сопоставлении признаков.

В таком определении индекса качества его числовые значения заключены в диапазоне ноль–единица, (0–1). Величина $(1 - m_{ij} / n_{ij}) = 1 - \mu_{ij}$ является мерой отклонения от качества и может рассматриваться как величина, пропорциональная соответствующей составляющей экологического риска R_{ij} по данному показателю, то есть:

$$R_{ij} = k (1 - \mu_{ij}). \quad (5)$$

В формуле (5) k – корректирующий коэффициент, определяемый экспертами, и из нее же следует, что диапазон численного изменения R_{ij} также заключен в интервале (0–1), и с ростом качества риск уменьшается и наоборот.

В этом подходе легко построить обобщенные, интегральные и комплексные индексы качества $\beta_{об}$, пользуясь рекомендациями квалиметрии и разработ-

ками, представленными в работах [Музалевский, 2003, 2008; Потапов, 2005]. Например:

$$\beta_{\text{об.}} = \sum p_{ij} \mu_{ijl} \quad (6)$$

В выражении (6) суммирование ведется по l , p_{ij} – коэффициенты значимости каждого конкретного индекса качества, определяемые, например, экспертной оценкой, причем:

$$\sum p_{ij} = 1. \quad (7)$$

Такой подход изначально предусматривает включение в информационную модель соответствующих данных в физической химической и биотической составляющих по всем четырем классам и в силу этого заметно повышает полноту описания состояния и качества исследуемого объекта.

Индекс качества, связанный через корректирующий коэффициент с экологическим риском, также изменяющемся в диапазоне 0–1, позволяет ввести количественную шкалу оценки уровня экологической безопасности.

Следующим шагом будет определение тех понятий, которые подлежат количественной оценке.

Экологическая опасность (D) – угроза изменения состава или свойств окружающей среды, либо появление изменений, связанных с возникновением в ней нежелательных процессов, обусловленных антропогенным воздействием. Смысл данного определения – вероятностный. Это значит, что диапазон изменений этой величины также меняется от 0 до 1.

Экологическая безопасность – $S = 1/D$ – величина, обратная экологической опасности. Диапазон изменений будет соответственно $(1 - \infty)$. Для практических целей вполне достаточно оперировать диапазоном $(1 - 10)$.

Приемлемый уровень риска $R_{\text{пр}}$. Как показывают исследования и практика сопоставления разных методов оценки экологической обстановки на разных урбанизированных территориях, уровень приемлемого риска соответствует численному значению равному $R_{\text{пр}} = 0,3-0,4$. Все риски выше этих значений следует рассматривать как неприемлемые.

Уровень экологической безопасности, отвечающий уровню приемлемого риска, равен $S = 2,5 - 3,3$.

Для проведения количественных оценок и последующей их передачи в систему принятия решений нами разработана специальная таблица (табл. 1), связывающая все основные и важные для лица, принимающего решение, параметры, на основе которых эти решения и должны приниматься.

Эта таблица показывает, что наш подход представляется предпочтительным, так как он более детален и точнее и разнообразнее может отразить ситуацию графически. Один из вариантов такого представления, удобного для восприятия лицом, принимающим решения, изображен на рис. 2.

Таблица 1

Качественные и количественные характеристики индикаторов, риска и уровня экологической безопасности

Численные значения обобщенного $\beta_{об}$	Качественная характеристика уровня экологического риска R	Примерное численное значение уровня экологического риска R	Уровень экологической безопасности S
0,01 – 0,1	Катастрофический	Риск близок к единице	Минимальный и равен единице (1)
0,1 – 0,15	Запредельный	0,9	1,1 – 1,2
0,15 – 0,2	Критический	0,8	1,2 – 1,3
0,2 – 0,4	Опасный	0,7	1,3 – 1,4
0,4 – 0,8	Зона экологического риска	0,7-0,5	1,5 – 2,0
0,8 – 1,0	Допустимый	0,5	2,0 – 2,2
1 – 2	Приемлемый	0,4	2,2 – 2,5
2 – 4	Удовлетворительный	0,3	2,5 – 3,3
4 – 7	Хороший	0,2 и меньше	3,3 – 5,0
Свыше 8	Фоновый	0	Свыше 5 Максимальный Уровень может быть принят за 10

Необходимо отметить, что картинка, изображенная на рис. 2, является статической графической интерпретацией экологической ситуации по индексу качества и риску в химической составляющей в классе "состав" и далеко не полно отражает фактическое положение дела в целом. Остается весьма высокой степень неопределенности в понятии «экологическое состояние», так как не учтены еще две составляющих и три класса. Поэтому к такого рода оценкам нужно относиться весьма осторожно. Более высокая степень полноты описания будет достигнута, если к рассмотрению будут привлечены физическая и биотическая составляющие, а также приняты во внимание результаты, полученные по оставшимся трем классам.

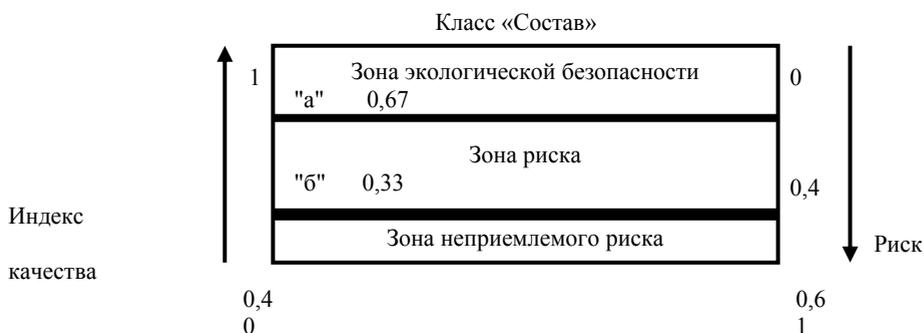


Рис. 2. Графическое представление оценки качества атмосферного воздуха.
«а» – нижний допустимый уровень экологической безопасности;
«б» – верхний приемлемый уровень экологического риска

Экологические возмущения, обусловленные техногенным воздействием, ухудшают качество компонентов окружающей среды УТ. Нормальной можно считать ситуацию, при которой изменения значений индекса качества заключены между границей верхнего приемлемого уровня экологического риска «б» и нижним допустимым уровнем экологической безопасности «а».

Устойчивость состояния означает:

– во-первых, способность самой экосистемы УТ "удерживать" значения своих параметров в зоне риска между значениями индекса качества в точках "а" и "в" за счет самоочищения и саморегуляции;

– во-вторых, в условиях техногенного давления устойчивость УТ должна обеспечиваться целенаправленной деятельностью человека, воздействующего на состояние УТ посредством управляющих параметров.

Подводя итог, отметим, что предложенные индикаторы и индексы качества и методика расчета состояния и качества компонента природной среды УТ - атмосферного воздуха хорошо улавливают присутствие загрязняющих и токсичных веществ с концентрациями заметно ниже уровня ПДК.

3. Пример практического расчета.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха в Краснодаре, Новороссийске, Сочи на основе данных натуральных наблюдений

Был взят ряд наблюдений по Краснодару и Новороссийску за 2002–2005 гг., по Сочи 2001–2005 гг. По Краснодару и по Новороссийску наблюдения велись за концентрациями следующих веществ: 1) взвешенные вещества, 2) диоксид серы, 3) сульфаты растворимые, 4) оксид углерода, 5) диоксид азота, 6) оксид азота, 7) бенз(а)пирен, 8) сероводород, 9) фенол, 10) формальдегид. По позициям 7–10 наблюдения велись в прерывистом, выборочном режиме. Однако было отмечено, что именно эти вещества существенно влияют на окончательное значение $ИЗА_5$.

В Сочи ситуация отслеживалась шести веществами: 1) взвешенные вещества, 2) диоксид серы, 3) растворимые сульфаты, 4) оксид углерода, 5) диоксид азота, 6) оксид азота.

На основании данных натуральных наблюдений рассчитывался $ИЗА_5$ – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина $ИЗА$ рассчитывается по значениям средних за год концентраций $q_{ср}$ и характеризует уровень длительного загрязнения воздуха. Все данные сведены в таблицу, в которой приведены значения $ИЗА_5$ с учетом позиций 7–10. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Индекс $ИЗА_5$ для трех городов Краснодарского края

Город	2001	2002	2003	2004	2005
Краснодар $ИЗА_5$		16	23	12	9
Новороссийск $ИЗА_5$		12	14	15	17
Сочи $ИЗА_5$	2,07	1,83	1,47	3,24	3,22

Данные наблюдений, на основе которых рассчитаны ИЗА₅ одновременно были обработаны по предлагаемой методике индексной квалиметрии. При этом позиции 7–10 не учитывались, что и объясняет некоторые отклонения в интерпретации результатов расчетов и подчеркивает существенную роль ЗВ под номерами 7–10 в формировании качества атмосферного в Краснодаре и Новороссийске (табл. 3).

Таблица 3

Представление информации по новой методике индексной квалиметрии

Город	Индекс качества μ	Качественная характеристика уровня экологического риска R	Примерное численное значение уровня экологического риска R	Уровень экологической безопасности S
Краснодар	0,65	Удовлетворительный	0,35	2,5–3,3
Новороссийск	0,57	Приемлемый	0,43	2,2–2,5
Сочи	0,9	Хороший, т.е. риск мал	0,1	3,3–4,0

Таблица показывает, что она проще и информативнее предыдущей и более удобна для лица, принимающего решение (ЛПР). Главное, что она представлена в психологически удобной и простой по интерпретации шкале ноль (0) – единица (1).

4. Сопоставление двух концепций

Для полноформатного сопоставления двух концепций необходимо обсудить следующие позиции: 1. Целеполагание. 2. Применяемые логики, 3. Направления отбора и обоснования показателей качества атмосферного воздуха. 4. Понятийный аппарат, термины и их определения. 5. Модели. 6. Проблема неопределенности. 7. Количественные шкалы.

Предлагаемый подход изначально предусматривает включение в объектно-информационную модель соответствующих данных по химической, физической и биотической составляющим по четырем классам (состав, свойства, процессы, явления), и в силу этого резко повышает полноту описания состояния и качества исследуемого объекта по сравнению с первой концепцией. Как средство оценки и инструмент управления в новый подход дополнительно введен риск. Это обстоятельство обогащает возможности систем управления, позволяя генерировать значительно больший объем новой ценной информации, что заметно отличает предлагаемый новый подход от неэффективной «загрязняющее – ресурсной» парадигмы, в которой приоритет отдается химической составляющей и классу состав.

В новом подходе особое место отведено простоте интерпретации полученных результатов как одному из требований сформулированных к индикаторам и индексам при построении новых показателей качества. Необходимая простота интерпретации достигнута за счет размерности (все введенные величины безразмерны) и выбору единой линейной шкалы для всех введенных величин, в том числе и риску. Это обстоятельство позволяет индекс качества через корректирующий коэффициент связать с экологическим риском и ввести количест-

венную шкалу оценки уровня экологической безопасности, заключенную между значениями 1–10, что также удобно для ЛППР.

Переход к количественным оценкам открывает новые возможности также в плане форматов представления информации для систем принятия решений, обеспечивая простоту интерпретации и удобство пользования представленным материалом, заметно повышая эффективность систем управления.

4. Перспективы

Есть основания считать, что уже в ближайшее время усилиями Комитета по экологическим индикаторам и Комиссии по устойчивому развитию при ООН и активной работе ученых в данном предметном направлении, которое можно назвать индексной квалиметрии или индикаторно-рискологическим подходом, обозначится заметный прогресс и произойдет определенное упорядочение и систематизация наших знаний. В этом плане следует также отметить, что индикаторно-рискологический подход, являющийся по существу синергетическим, в рамках которого объединяются точные, естественные и гуманитарные науки – это наиболее перспективный путь решения задач, поставленных в связи с существованием проблемы оценки и управления состоянием и качеством компонентов окружающей среды больших городов и промышленных зон. Динамическая теория информации, содержащаяся в рамках этого подхода, в приложении к исследованию урбанизированных территорий может принести новые интересные результаты, потому что информация играет в них важнейшую роль.

Литература

1. *Потапов А.И. и др.* Пути решения экологических проблем автотранспорта. Научное и учебно-методическое справочное пособие. – СПб.: Гуманистика, 2006. – 567 с.
2. РД52.04.186-89. 1991 г.
3. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2007 г. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – СПб., 2009. – 195 с.
4. *Музалевский А.А.* Новые подходы к решению проблемы обеспечения экологической безопасности на основе новой экологической парадигмы. 3-я Евроазиатская конференция по транспорту. Санкт-Петербург, 10–13 сентября 2003 г. // Сб. науч. статей "Пути решения экологических проблем транспортных коридоров", с. 301–330.
5. *Яйли Е.А., Музалевский А.А.* Риск: анализ, оценка, управление. Научное издание. – СПб.: изд. РГГИУ, 2005. – 232 с.
6. *Яйли Е.А., Музалевский А.А.* Методология и способ оценки качества компонентов природной среды урбанизированных территорий на основе индикаторов, индексов и риска // Экологические системы и приборы, 2006, № 12, с. 23–29.
7. *Потапов А.И., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н., Музалевский А.А.* Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Ч. 3. Управление качеством окружающей среды. – СПб.: изд. РГГМУ. 2005. – 598 с.
8. *Музалевский А.А.* Экология. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 604 с.