

Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет

anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. «Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии». Обобщены имеющиеся сведения по анализу исследований в области комплексной оценки природно-антропогенных систем. Показано, что в данной научной области существует ряд нерешенных методологических проблем. Основным недостатком существующей методологии связан с тем, что при комплексной оценке природно-антропогенных систем используются преимущественно экспертные методы и подходы. Поэтому в большинстве случаев исследования носят субъективный характер. Отмечается, что перспективы развития методологии комплексной оценки природно-антропогенных систем могут быть связаны с конвергенцией методов системной динамики и феноменологических методов физики сплошных сред и термодинамики. В этом плане предлагается разработка новых методов и средств комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования таблично-временных баз данных. Изложены научные идеи, направленные на развитие методологии комплексной оценки, заключающиеся в принятии нескольких гипотез феноменологического характера. Сделаны выводы, что для совершенствования систем оценки опасностей и рисков при воздействиях на природную среду и человека необходимо применение в исследованиях природно-антропогенных систем методов, использующих феноменологические подходы анализа и описания фактических данных.

Ключевые слова: методология, гипотезы, комплексная оценка, природно-антропогенные системы, феноменологические подходы, базы данных показателей.

Введение

Методология комплексной оценки природно-антропогенных систем (ПАС) в настоящее время использует преимущественно экспертные методы и подходы. Это приводит к тому, что большинство исследований в данной области носит субъективный характер, так как результаты комплексной оценки существенно зависят от мнения, уровня подготовки экспертов и специфики экспертных методов.

Сегодня одна из фундаментальных проблем науки связана с применением в исследованиях экологических, антропогенных, техногенных и биологических процессов и явлений естественнонаучных методов, которые используют феноменологические подходы анализа и описания фактических данных. Подобные методы получили широкое распространение в физике сплошных сред и термодинамике. Данное научное направление имеет большое значение, так как позволяет предложить теоретические подходы к исследованию природно-антропогенных систем. Это позволит предложить объективные методы анализа объектов, процессов и явлений, что качественно отличает их от экспертных методов.

Основная гипотеза, которая направлена на развитие методологии комплексной оценки,

связана с возможностью создания на основе баз данных показателей и индикаторов природно-антропогенных систем множества моделей в виде феноменологических описаний природных, экологических и антропогенных процессов. Данные модели отличаются использованием закономерностей, которые существуют между вероятностями различных наблюдаемых событий, свойственных изучаемой базе данных. Предполагается, что для природно-антропогенных систем могут быть составлены уравнения, в которые входят параметры и функции, комплексно характеризующие эти системы, и которые могут быть получены на основе обработки данных статистических наблюдений. Для группы однотипных объектов ПАС определенного класса данная гипотеза может быть принята или отвергнута на основе обработки имеющихся фактических данных. Наиболее адекватные модели могут быть выбраны из множества моделей с использованием статистических подходов, которые позволяют оценить вероятности сложных событий, характеризующих состояние природно-антропогенных систем. Все это даст возможность развить методологию и теорию комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования

феноменологических подходов при анализе и описании фактических данных.

Таким образом, цель данной статьи – предложить новые методологические подходы к комплексной оценке ПАС на основе применения методов феноменологического анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред для совершенствования систем оценки опасностей и рисков при воздействиях на природную среду и человека.

Состояние исследований в области комплексной оценки систем

В экологической безопасности чаще всего, говоря о состоянии природно-антропогенных систем, подразумевают загрязнение природных сред, наблюдаемый уровень антропогенного воздействия на природу и человека, а также различные экологические и антропогенные характеристики и видовое биоразнообразие, свойственные таким системам. Различные виды ПАС обычно включают в себя множество однотипных объектов, которые можно считать объектами одного класса.

Например, в урбанистике основными объектами природно-антропогенных систем выступают города, в глобалистике – страны мира, в регионалистике в качестве объектов рассматривают области, штаты и другие административные единицы различных стран или крупные регионы континентов. В экологических исследованиях объектами ПАС выступают однотипные экосистемы, природные зоны и территории, при изучении биоразнообразия – биотопы с определенными биоценозами и т.д.

Обычно под природно-антропогенной системой понимают совокупность природных и искусственных объектов, функционирующих как единое целое. Такие системы формируются в результате строительства и эксплуатации на природной территории различных сооружений и технических средств, которые взаимодействуют с природными объектами. В ПАС большую роль играют не только естественные, но и антропогенные и техногенные процессы. К основным видам ПАС относятся разнообразные городские и сельские поселения, сельскохозяйственные системы, отдельные крупные промышленные предприятия и индустриальные зоны, транспортные территории и транспортные коммуникации, энергетические природно-технические комплексы, горнорудные предприятия вместе с зонами их влияния, рекреационные системы и др.

Природно-антропогенные системы отличаются дуализмом, как это видно из самого термина. С одной стороны, первоначальные природные особенности таких систем в

значительной степени изменены и состояния систем определяются воздействующей антропогенной нагрузкой. С другой стороны, основные особенности их функционирования во многом зависят от природных условий, в которых эти системы существуют. Основные компоненты ландшафта, геологическое строение, климат, воздушная среда, водные объекты, лесные массивы или зеленые зоны могут быть изменены, однако сохраняют свои основные особенности в пределах природно-антропогенных систем. Таким образом, природно-антропогенная среда таких систем состоит из частично измененных человеческой деятельностью природных систем, которые развиваются под постоянным воздействием человека. Наиболее изменены природные процессы и окружающая среда в городах. Реймес среди природно-антропогенных систем особо выделял урбанистические системы (урбосистемы) – «неустойчивые природно-антропогенные системы, состоящие из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем».

В любой момент времени природно-антропогенная система находится в определенном состоянии. Под состоянием системы следует понимать совокупность ее показателей, характеризующих структуру и процессы функционирования систем в заданный момент времени. Каждый объект в природном, антропогенном и биологическом отношении может характеризоваться множеством показателей, свойственным только данному виду природно-антропогенных систем. Для характеристики самых разных аспектов ПАС в мировой практике разработаны комплексы показателей и индикаторов, которые приняты к использованию научным сообществом [1 – 10].

Основные направления и тенденции исследований в данной области связаны с накоплением и созданием все более обширных баз данных показателей состояния, изменения и развития природно-антропогенных систем, применением новых методов визуализации и оценки данных, использованием математических методов анализа данных, созданием информационно-аналитических систем хранения, обработки и представления данных, развитием методов комплексной оценки, теории оценки рисков и методов системной динамики [11 – 24, 34].

Комплексная оценка состояния природно-антропогенных систем обычно представляет собой очень трудоемкую процедуру из-за наличия большого количества показателей, требующих анализа и отражающих самые разные аспекты систем. В таких исследованиях обычно применяются три подхода. Первый подход связан с разработкой

обширных докладов о состоянии и предполагаемом изменении и развитии систем [25 – 29, 33]. Второй подход, с целью упрощения процедуры анализа, основывается на индикаторном методе, когда для оценки состояния и изменения систем вводятся в рассмотрение самые различные индексы, которые интегрируют несколько показателей [30 – 35]. Третье теоретическое направление комплексной оценки связано с методологией оценки рисков [16 – 23] и теорией системной динамики [36 – 40].

Сегодня комплексная оценка природно-антропогенных систем проводится на основе самых разных индексов, которые отличаются как способами их определения, так и методологическими принципами их построения. Существуют сотни достаточно известных индексов и мер в области социально-экономического развития стран и регионов, в области охраны окружающей среды, экологии и биоразнообразия. Гипотезы, которые положены в основу моделей, обычно носят частный и субъективный характер и не могут служить основой для надежных количественных методов оценки хотя бы потому, что биологические, экологические и социальные системы нельзя оценивать по одному, хотя и комплексному показателю. Для построения количественных моделей необходима разработка шкал измерения показателей состояния систем, которые бы не являлись в своей основе субъективными. Пока в биологии и экологии подобных систем количественной оценки не существует.

Анализ исследований в области комплексной оценки природно-антропогенных систем выполнен в известных работах [41 – 47]. Обобщая имеющиеся данные по анализу состояния вопроса, можно отметить, что в данной области существует целый ряд нерешенных методологических проблем:

- существующие методы комплексной оценки в значительной мере некорректны и субъективны, в первую очередь потому, что повсеместно используют методологию экспертных методов и никак не учитывают фундаментальные закономерности природно-антропогенных систем. Все исследования практически сводятся или к множественным пространственным описаниям различных аспектов и компонентов систем или к использованию индексов, построенных по «соглашению» на принципе аддитивности индикаторов и с учетом весов показателей, а также последующему сравнению систем на основе этих индексов;
- множество комплексных индексов и мер, которые построены с использованием гипотетических и экспертных методов, не

адаптированы к данным наблюдений, обладают слабой устойчивостью к изменениям данных, отличаются сильной взаимозависимостью показателей, которые используются для оценки;

- теоретические работы по оценке рисков в области экологических наук часто сводятся к гипотезам и обобщениям, оторванным от реальной статистической базы и систематического изучения опытных данных. Несмотря на явную связь теории оценки рисков с теорией вероятности, методология оценки рисков не получила достаточного теоретического базиса;
- модели для комплексной оценки пока основаны на весьма частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгих теорий. При изучении природно-антропогенных систем практически не применяются и не проверяются на опытных данных фундаментальные гипотезы, которые получили широкое распространение в естественных науках: различные общесистемные принципы, уравнения состояния систем, законы сохранения, предположения и допущения, которые бы давали возможность на основе опытных данных получить феноменологические описания и т.д.;
- приходится констатировать, что сколь-нибудь строгих методов комплексной оценки, которые бы отличались высокой обоснованностью и формализмом теории, до настоящего времени не выработано. Многие методы комплексной оценки при применении к одному объекту исследования вообще могут давать несопоставимые результаты, что указывает на нарушение основного принципа науки о воспроизводимости результатов.

Отметим, что наиболее существенные научные проблемы лежат в области теории комплексной оценки. Именно в области теоретических исследований существует несколько проблем, которые не позволяют многочисленным научным идеям превратиться в общепринятые теории. Во-первых, часто изначально формулируются качественные теоретические концепции, которые практически невозможно формализовать и для которых нельзя получить количественные соотношения. Во-вторых, очень часто теоретические гипотезы высказываются на основе поверхностного обобщения данных без проверки адекватности моделей. Все это приводит к большому количеству частных моделей, которые чаще всего несут в себе субъективное и экспертное содержание. В-третьих, при построении моделей не используются большие базы данных

показателей о состоянии систем, в связи со сложностью сбора информации и необходимостью работы с многомерными массивами данных.

Как следствие, на фоне громадного количества аналитических докладов широко известных моделей природно-антропогенных систем и комплексных оценок их состояния и развития очень мало. Сегодня научное направление комплексной оценки систем формируется в большей степени как описательная наука. По утверждению авторов статьи [15] за последние 30 лет не появилось ни одной сколько-нибудь заметной публикации, вносящей что-то новое в основные концепции или фундаментальные законы экологических наук. По их словам экологический мир на пороге научной революции, связанной с развитием теории, но новая парадигма еще не проникла в умы естествоиспытателей.

Однако последние годы быстро развивается область междисциплинарных исследований, основанная на применении естественнонаучных методов в биологических и экологических науках. В этом плане следует отметить феноменологические методы системной динамики, очень тесно связанные со структурно-логической схемой построения моделей, принятой в термодинамике, и естественнонаучные методы, используемые в теории сплошных сред. В 1986 году А. Гухманом была высказана идея, что модели энтропии в термодинамике могут быть распространены на взаимодействия любого рода и системы самой различной природы [48]. В работе [39] данное направление было развито, что позволило внести вклад в теорию моделирования сложных социально-экономических систем и построение моделей биологических систем. Считаем, что именно данное направление моделирования систем наиболее актуально, так как позволяет применить феноменологические методы для описания живой природы.

В области мониторинга природных и антропогенных систем накоплены большие базы данных, которые позволяют вести речь о поиске и установлении феноменологических закономерностей и разработке комплексных моделей систем и объектов. Данное направление исследований уже вполне позволяет поставить задачу оценки вероятностей состояний систем, исходя из сложных событий одновременного наблюдения нескольких показателей, использующих информацию баз данных и характеризующих различные природно-антропогенные системы [49 – 54]. Автором в некоторых работах было показано, что данное направление может привести к научным результатам, которые будут отличаться несомненной новизной [55 – 62].

Предлагаемые новые подходы, гипотезы и методы

Перспективы развития методологии комплексной оценки ПАС могут быть связаны с использованием методов теории систем, системной динамики и феноменологических методов физики сплошных сред и термодинамики [36 – 40, 48]. В этом плане предполагается разработка новых методов и средств комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования баз данных показателей, представленных в виде таблично-временных баз данных. Подобные базы данных имеют структуру таблиц в виде матриц «объекты – показатели», причем множество таблиц (q) упорядочено по времени, например, по годам, месяцам и т.д.

В качестве объектов исследования различных видов природно-антропогенных систем могут выступать страны, области, районы, города, природно-промышленные комплексы, отдельные территории (например, природно-заповедные зоны), крупные промышленные и энергетические предприятия и т.д. В качестве показателей и индикаторов природно-антропогенных систем могут быть самые различные величины. Например, в группе показателей, характеризующих загрязнение природных сред и наблюдаемый уровень антропогенного воздействия на природную среду и человека это могут быть концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, поверхностных водах и почвах, объемы выбросов и сбросов загрязняющих веществ, выбросы парниковых газов, количество используемых пестицидов, объемы использованной свежей и оборотной воды, площади сельскохозяйственных и орошаемых земель, количество накопленных отходов, объемы добычи полезных ископаемых, объемы потребления и производства энергии, площади нарушенных земель и т.д. (обычно до 30 – 40 основных показателей). В качестве антропогенных характеристик природно-антропогенных систем могут выступать социально-экономические величины: численность населения, показатели ВВП, ВНП и ВНД, доля городского населения, показатели структуры экономики и промышленности, расходы домашних хозяйств, уровень безработицы и миграции, младенческая и детская смертность, число убийств и тяжких преступлений, число заболеваний туберкулезом и т.д. Количество основных социально-экономических показателей может достигать до сотни величин. Для природно-антропогенных систем в качестве показателей и индикаторов биологического разнообразия могут выступать характеристики окружающей среды, показатели, характеризующие распространения видов, доля

охраняемых территорий, лесных и лесопокрытых территорий, количество основных и доминантных видов, индексы биоразнообразия и т.д. (обычно до 10 – 15 показателей).

Для k объектов и m показателей такие таблицы данных могут быть отражены в n -мерном пространстве некоторых показателей p точками $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$, где $p = k \cdot q$; M – состояние системы в данный момент времени; z_1, z_2, \dots, z_n – показатели (параметры) системы. Причем n показателей выбираются из общего числа m всех статистических показателей. Здесь n – это количество атрибутивных показателей ($n < m$), которые характеризуют базовые свойства изучаемой природно-антропогенной системы. Каждая наблюдаемая точка соответствует состоянию некоторого объекта, которое изменяется с течением времени. Все состояния одного объекта лежат на некоторой многомерной кривой, которая представляет в многомерном пространстве процесс изменения и развития этого объекта и охватывает все точки состояний данного объекта, находящиеся в различных таблицах базы данных. Таким образом, все k объектов характеризуются спектром многомерных кривых. Каждой n -мерной точке $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$ дополнительно может быть поставлена в соответствие статистическая вероятность наблюдения некоторого простого или сложного события, например, наблюдения одного показателя (индикатора, события) или одновременного совместного наблюдения двух и более показателей, которые не являются атрибутивными величинами. Аналогичным образом могут быть рассмотрены простые или сложные события наблюдения атрибутивных показателей. Количество таблиц, объектов и показателей в таблицах не ограничивается. Перечень атрибутивных показателей определяется сложившимися в научном сообществе представлениями о поведении изучаемой системы, корреляционным анализом данных или другими методами установления наиболее значимых переменных.

Научные идеи, связанные с развитием методологии комплексной оценки, заключаются в принятии нескольких гипотез, которые носят феноменологический характер и могут подтверждаться или опровергаться для данного вида природно-антропогенной системы на основе имеющихся опытных данных.

В соответствии с работами [39, 57], первый фундаментальный аспект методологии комплексной оценки заключается в поиске связей и закономерностей не между показателями и индикаторами, а между

вероятностями наблюдения различных событий, свойственных изучаемой базе данных. Это предполагается делать путем установления зависимостей между статистической вероятностью сложных событий (совместные события наблюдения двух и более показателей, события наблюдения отдельных актуальных показателей) и функциями распределения одномерных случайных величин – атрибутивных показателей. В первом случае, статистическая вероятность определяется с использованием алгоритмов перебора, группировки и подсчета частот благоприятных событий на основе данных, которые имеются в базе данных и получены опытным путем в результате наблюдения. Во втором случае, для одномерной случайной величины функция распределения для каждого атрибутивного показателя находится как вероятность попадания в заданный интервал равномерно распределенной случайной величины. Все это позволяет построить вероятностную среду моделирования в виде многомерного пространства координат H_n , где координатные оси соответствуют шкалам атрибутивных переменных $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ для таблиц изучаемой базы данных, а вероятности сложных и простых событий представляются скалярными величинами в данном пространстве H_n . При таком подходе основной объект моделирования – это состояние каждого объекта природно-антропогенной системы в пространстве H_n , которое отображается n -мерной точкой и которое выражается через параметры атрибутивных переменных $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, а также вероятность этого состояния – вероятность сложного события совместного наблюдения атрибутивных величин. Кроме того, каждой наблюдаемой n -мерной точке может быть поставлено в соответствие множество наблюдаемых событий и их вероятностей. Это позволяет искать связи между вероятностью состояния системы и вероятностями различных других событий. Для поиска зависимостей между вероятностями событий предполагается использовать методы пробит-анализа данных, методы логистического анализа или другие методы нелинейной регрессии.

Второй фундаментальный аспект методологии заключается в том, что с целью построения теории комплексной оценки природно-антропогенных систем как специфического вида теории сплошных сред вводятся следующие гипотезы:

- в n -мерном пространстве переменных возможные состояния природно-антропогенной системы теоретически образуют некоторую область Ω_n , которая

охватывает все наблюдаемые n -мерные точки (всего p точек). Данная область представляет собой многомерный параллелепипед, размеры сторон которого определяются минимальными и максимальными значениями переменных: $z_{1,\min} \leq z_1 \leq z_{1,\max}$; $z_{2,\min} \leq z_2 \leq z_{2,\max}$; \dots ; $z_{n,\min} \leq z_n \leq z_{n,\max}$. Данную область по аналогии с [39, 57] назовем пространством наблюдаемых состояний системы;

- в пространстве состояний Ω_n существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности объектов. Многомерные точки состояний непрерывно заполняют пространство. Наблюдаемые точки M в количестве p являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности;
- в многомерной области Ω_n может быть построен комплексный индекс состояния системы вида $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Это означает, что все точки в многомерном пространстве $(n+1)$ -ой переменной $\{z_1, z_2, \dots, z_n, T\}$, изображающие состояние системы в разные моменты времени, должны лежать на некоторой гиперповерхности; соответствующие многомерные кривые, отражающие изменения состояний для каждого объекта, также будут лежать на этой поверхности. Таким образом, индекс в пространстве Ω_n образует скалярное поле и будет отражать некоторую систему измерения состояния объекта;
- в пространстве состояний Ω_n существует некоторая общая мера, характеризующая процессы изменения состояний природно-антропогенных систем $W = W(M)$. По аналогии с [39, 57], данную меру будем называть количеством воздействия $W = W(M)$. Считаем, что данная величина может быть связана с вероятностями наблюдаемых событий, характерных для изучаемой природно-антропогенной системы;
- между величинами $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$ в пространстве Ω_n при осуществлении любого процесса развития ПАС существует связь вида: $dW = \lambda_i \cdot dT$, где величины $dW = \lambda_i \cdot dT$ являются феноменологическими переменными, которые определяются из данных статистических наблюдений.

Все это позволяет по аналогии с [57], при комплексной оценке природно-антропогенных систем гипотетически ввести в рассмотрение две величины, характеризующие состояния объектов в каждой элементарной области пространства H_n : количество воздействия $W = W(M)$ и комплексный индекс $T = T(M)$.

Количество воздействия $W = W(M)$ – величина, характеризующая интенсивность процессов изменения состояния однотипных объектов природно-антропогенной системы и отражающая результат опыта, которая представляется в виде феноменологических описаний относительно атрибутивных параметров системы.

Комплексный индекс – скалярная величина, характеризующая состояния данного класса объектов и отражающая результат моделирования, которая представляется в виде математических зависимостей, построенных на основе тех или иных предположений и допущений о виде функции $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$.

Введение комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ необходимо для построения теории описания данных (состояний) и построения их моделей для определенного вида природно-антропогенной системы. В свою очередь, для того, чтобы иметь возможность описать процессы изменения состояний системы, наблюдаемые с течением времени, необходимо введение понятия количества воздействия $W = W(M)$, непосредственно связанного с опытными данными. Для обоснования возможности оценки величины W делается предположение, о котором говорилось выше, что эта величина может быть связана со статистическими вероятностями наблюдаемых состояний системы (или вероятностями некоторых характерных событий). Это дает возможность построить систему измерений величины W .

В процессе исследований предполагается использовать так называемый принцип соответственных состояний, который широко применяется в естественных науках. В физике и химии данный принцип является обобщением эмпирического положения, что для объектов одного класса многие свойства тесно связаны с некоторыми характерными (опорными) свойствами для всех объектов приблизительно одинаково. При реализации этого принципа в процессе построения моделей показатели состояний некоторых объектов выбираются в качестве опорных и все остальные свойства объектов соотносятся с этой точкой в изучаемом пространстве свойств. Теория соответственных состояний – это своего рода теория подобия признаков и свойств объектов одного класса.

Таким образом, для начальной таблицы данных следует найти (предложить) некоторый объект в виде опорной точки $M_0(z_{10}, z_{20}, \dots, z_{n0})$ и на основе проведения вычислительных экспериментов искать вероятностные модели данных вида:

$$\psi(w, w_0) = F\left(\frac{z_1}{z_{10}}, \frac{z_2}{z_{20}}, \dots, \frac{z_n}{z_{n0}}\right). \quad (1)$$

Здесь $M_0(z_{10}, z_{20}, \dots, z_{n0})$ – состояние некоторого опорного объекта для изучаемой таблицы базы данных; w, w_0 – соответственно вероятность наблюдаемого и опорного состояния. Количество воздействия линейно связывается со значениями статистических вероятностей характерных событий w , т.е. $W = \alpha \cdot (w - w_0)$. Статистическая вероятность w может быть определена как для событий, связанных с наблюдаемыми значениями только одной выбранной величины, так и для событий, которые отражают факт одновременного наблюдения значений нескольких величин (показателей или индикаторов). Вероятностные модели находятся методом пробит-анализа или другими методами нелинейной регрессии. Все это дает возможность предложить систему оценки (измерения) величины W для таблиц базы данных.

В свою очередь, комплексный индекс $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ в области H_n представляется в виде функциональных зависимостей относительно атрибутивных показателей. Данный индекс может быть выбран эмпирически, например, в виде мультипликативных, мультипликативно-степенных или иных зависимостей или определен из критериев наилучшего описания данных, которые имеются в таблицах. Другими словами, данный индекс определяется или на основе выбранного класса функциональных зависимостей, например, как многомерная геометрическая вероятность, или как мультипликативная степенная функция относительно показателей z_1, z_2, \dots, z_n , или из геометрических представлений однородности пространства Ω_n , т.е. соответственно в виде:

$$T = \beta \cdot \frac{z_1}{z_{10}} \cdot \frac{z_2}{z_{20}} \cdot \dots \cdot \frac{z_n}{z_{n0}}; \quad (2)$$

$$T = \beta \cdot \left(\frac{z_1}{z_{10}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{z_2}{z_{20}}\right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right)^{\alpha_n}; \quad (3)$$

$$T = (z_1 - z_{10})^2 + (z_2 - z_{20})^2 + \dots + (z_n - z_{n0})^2. \quad (4)$$

Основная гипотеза о функциональном виде комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ должна выбираться, исходя из изучения множества вероятностных моделей данных

$$\psi(w, w_0) = F\left(\frac{z_1}{z_{10}}, \frac{z_2}{z_{20}}, \dots, \frac{z_n}{z_{n0}}\right) \quad \text{на предмет}$$

возможности введения комплексных индексов.

Таким образом, одна из основных научных целей комплексной оценки состоит в определении содержания величин T и W , как комплексных характеристик для описания состояний и возможных процессов изменения и развития природно-антропогенных систем, и разработке методов оценки этих величин по опытным данным.

При разработанных способах измерения (оценки) величин T и W изложение теории комплексной оценки может быть основано на постулировании существования многомерных и непрерывных полей величин T и W и описании состояний систем и процессов изменения этих состояний через связь количества воздействия с комплексным индексом системы: $dW = \lambda_l \cdot dT$, где величины λ_l определяются по имеющимся данным таблиц базы данных.

Таким образом, предлагаемый метод комплексной оценки тесно связан с логикой построения теории термодинамики и системодинамики [39, 48], так как изначально в теорию вводятся феноменологически определяемые величины λ_l , характеризующие состояние объектов. Множество данных величин для каждой элементарной области пространства Ω_n определяется из соотношений $dW = \lambda_l \cdot dT$ при условии, что могут быть предложены системы измерения величины количества воздействия W и комплексного индекса T .

Особенность предложенного подхода заключается в том, что гипотеза существования величин λ_l может быть принята или отвергнута на основе обработки имеющихся опытных данных. Кроме того, предложенная методология комплексной оценки отличается использованием естественнонаучных методов, т.к. основывается на феноменологических закономерностях, а не на гипотетических или экспертных методах оценки состояния объектов. Это также положительно характеризует степень новизны предлагаемого подхода.

В процессе выполнения работ по построению моделей необходимо провести существенный объем вычислительных работ по выбору оптимальных моделей среди множества возможных вариантов. Это связано с необходимостью перебора различных модельных функций для описания комплексного индекса, потребностями изучения множества вариантов совместных событий и связи этих событий с величиной количества

воздействия, поиском оптимальных опорных состояний и вероятностных моделей для описания соответствующих состояний, выполнением определенного набора однотипных расчетов для каждой таблицы базы данных.

В целом методика поиска зависимостей для комплексной оценки ПАС включает следующие этапы:

- составляется база данных показателей для определенного вида природно-антропогенной системы;
- формулируются принципы и теоретические основы комплексной оценки, суть которых в общих чертах была приведена выше;
- разрабатываются методы определения комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ на основе известных значений атрибутивных показателей, входящих в базу данных изучаемого вида природно-антропогенной системы. Для этого индекс выбирается эмпирически в виде мультипликативных, мультипликативно-степенных и иных зависимостей;
- разрабатываются методы оценки величины количества воздействия и устанавливаются регрессионные нелинейные зависимости, характеризующие связь этой величины с вероятностями состояния системы и атрибутивными показателями. Ищутся зависимости, определяющие связь вероятности состояния системы с вероятностями различных событий, свойственных изучаемой базе данных;
- после разработки методов оценки комплексного индекса и величины количества воздействия находятся феноменологические константы, характеризующие данный вид природно-антропогенной системы;
- формулируются практические методы комплексной оценки природно-антропогенных систем. Определяются функции состояния, которые как показано в работах [39, 57] представляют собой многомерные поверхности уровня и векторные линии в вероятностном пространстве Ω_n , свойственном изучаемой базе данных;
- осуществляются практические расчеты для тестовых примеров, разрабатываются модели комплексной оценки для отдельных видов природно-антропогенных систем, устанавливаются закономерности и особенностей опасных событий и процессов в таких системах, оценивается риск таких событий и процессов, исходя из вероятности определения соответствующих сложных событий;

- создается практическая методика комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред.

Разработку методов комплексной оценки природно-антропогенных систем следует сделать для нескольких тестовых задач, например: изучение уровня загрязнения атмосферного воздуха городов и построение комплексных индексов для оценки состояния загрязнения и изменения экологической обстановки в городах; исследование экологических процессов в странах мира и построение систем комплексной оценки их устойчивого развития; изучение состояния природно-антропогенных систем по показателям биоразнообразия и т.п. Для данных ПАС в экологических науках имеются обширные базы данных показателей и индикаторов.

Например, при изучении загрязнения воздуха в городах – это данные Украинского гидрометеоцентра и Гидрометеоцентра России, а также базы данных индикаторов развития городов [8].

База данных Украинского гидрометеоцентра включает статистические таблицы данных по 53 городам Украины на 163 стационарных, двух маршрутных постах наблюдений и двух станциях трансграничного переноса в период с 2000 по 2014 гг. по всем контролируемым вредным веществам. Обычно в базе данных представлена информация о концентрациях следующих основных загрязняющих веществ: пыль (по 53 городам), диоксид азота (по 53 городам), диоксид серы (по 53 городам), оксид углерода (в 48 городах), формальдегид (в 43 городах), тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Также имеется соответствующая информация о концентрациях фенола и аммиака в 23 городах, фтористого водорода в 14 городах, сероводорода в 16 городах, хлористого водорода в 11 городах, сажи в 6 городах, растворенных сульфатов в 19 городах, серной кислоты, бензола, толуола, этилбензола и ксилола в 2 городах, а также анилина в 1 городе. В настоящее время в базу данных городов Украины заносится содержание 31 вредной примеси в атмосферном воздухе.

При изучении развития стран мира для тестовой задачи может быть использована база данных Программы развития ООН, база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка, база данных международного Интернет-ресурса Trading Economics, экологическая база данных стран Европы и т.д. Сегодня эти базы данных (БД) присутствуют в открытом доступе сети Internet соответственно по адресам:

- база данных Программы развития ООН [49]: <http://hdr.undp.org/en/data>;
- база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка [50]: <http://data.worldbank.org/>;
- международный Интернет-ресурс о развитии стран мира [51]: <http://www.tradingeconomics.com/>;
- база данных Стран Европы [29].

База данных Программы развития ООН включает статистические таблицы данных почти по 100 странам в период 1975 – 1980 годов и по 187 странам в период 2011 – 2013 годов. Эта база данных содержит около 100 индикаторов, по которым определяются несколько индексов, характеризующих различные аспекты человеческого развития.

В свою очередь, база данных Всемирного банка является значительно более обширной нежели БД Программы развития ООН. Эта база данных включает в себя 21 компонент и аспект развития стран мира, в которые сведены более 1200 индикаторов ретроспективой за 50 лет.

База данных ресурса Trading economics содержит статистические таблицы данных 300 000 показателей и индикаторов по 196 странам с глубокой ретроспективой. База данных доступна для исследователей и экспертов с 2008 года.

База данных стран Европы [29] содержит социально-экономические, экологические, демографические и другие данные для 55 стран Европы (70 показателей состояния и развития стран).

При изучении процессов биоразнообразия природно-антропогенных систем могут быть использованы следующие базы данных:

- глобальная база данных по биоразнообразию – GBIF. – Электр. ресурс. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/>;
- AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Электр. ресурс. URL: <http://genomics.senescence.info/species/>;
- базы данных проекта «Биоразнообразие России». – Электр. ресурс. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/;
- база данных «Биоразнообразие Белоруссии». – Электр. ресурс. URL: <http://florafauna.by/page/about/>.

Таким образом, основные подходы, идеи и рабочие гипотезы, которые могут быть основой развития методологии комплексной оценки кратко формулируются в виде:

- интеграция и использование различных баз данных для различных видов природно-антропогенных систем, а также определение статистических вероятностей состояний объектов на основе опытных данных

позволит установить феноменологические закономерности, характерные для природно-антропогенных систем;

- поиск связей и закономерностей в базе данных показателей природно-антропогенных систем осуществляется не между показателями, характеризующими состояния объектов, а между вероятностями событий наблюдения этих величин;
- на основе агрегированной информации для природно-антропогенных систем возможна проверка гипотезы о существовании комплексного индекса и величины количества воздействия, характеризующих состояние таких систем. Статистический анализ данных позволит определить многомерные функции распределения вероятностей состояний объектов, исходя из реализации сложных совместных событий одновременного наблюдения нескольких показателей или индикаторов;
- для каждой элементарной окрестности пространства состояний системы Ω_n можно предложить систему измерения (оценки) комплексного индекса T и количества воздействия W , основанную соответственно на задании (определении) зависимостей из выбранного класса функций (индекс T) и определении значений статистических вероятностей характерных событий (величина W). Для этого предполагается использовать методы пробит-анализа и нелинейной регрессии, методы системной динамики, теорию сплошных сред и принцип соответственных состояний. Все это позволит установить на основе имеющихся опытных данных множество феноменологических величин, характеризующих состояние объектов в каждой элементарной области пространства состояний Ω_n ;
- комплексная оценка природно-антропогенных систем возможна по совокупности значений параметров и индикаторов объектов в таблицах «объекты – показатели», которые упорядочены во времени. Оценка проводится в многомерном вероятностном пространстве путем определения функций состояния, которые являются многомерными поверхностями уровня и векторными линиями в вероятностном пространстве Ω_n , свойственном изучаемой базе данных. Это позволяет оценить статус объекта в иерархическом множестве объектов одного класса (например, среди стран, областей, территорий, городов);

– ранее в статьях автора для некоторых тестовых задач в качестве примеров была показана возможность комплексной оценки природно-антропогенных систем в вероятностном пространстве многих переменных [55 – 62]. Это указывает на перспективность данного направления исследований.

Предложенные подходы отличаются новизной. Ряд гипотез, методов и средств решения поставленных задач в фундаментальной области исследований предлагается впервые.

Выводы

Таким образом, методологические и теоретические подходы для комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе феноменологического анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред. Подобные методы комплексной оценки предложены впервые.

Фундаментальность и оригинальность данного подхода заключается в применении естественнонаучных и математических методов при исследовании экологических проблем. Новизна путей совершенствования методологии комплексной оценки состоит в изучении возможности построения феноменологических описаний экологических систем, процессов и явлений. Также следует отметить междисциплинарный характер данного подхода, связанный с применением методов естественных наук в экологических исследованиях.

В результате исследований могут быть разработаны и установлены:

- новые принципы, теоретические методы и средства комплексной оценки природно-антропогенных систем;
- феноменологические модели данных и методика комплексной оценки природно-антропогенных систем;
- особенности и закономерности опасных процессов, а также вероятностных закономерностей неблагоприятных и опасных событий при антропогенных воздействиях на природную среду и человека;
- комплекс практических средств методического и информационного обеспечения для оценки опасностей и рисков при антропогенных воздействиях на природную среду и человека.

В настоящее время не существует аналогов, разрабатываемых методов анализа природно-антропогенных систем.

Литература

1. Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies / Prepared by D. Briggs, Occupational and Environmental Health. – WHO, 1999.
2. Brink B.J.E. ten (2000). Biodiversity indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy: a feasibility study. RIVM (Bilthoven, The Netherlands). RIVM report 402001014.
3. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. – United Nations, New York, 2001.
4. World Development Indicators (issued annually). World Bank. – Электр. ресурс, URL: www.worldbank.org/ (10.03.10).
5. UNEP/CBD (1997). Recommendation for a core set of indicators of biological diversity. (Convention of Biological Diversity, Montreal). UNEP/CBD/SBSTTA/3/9 and inf. 13, inf. 14.
6. Руководство по разработке и использованию национальных индикаторов биоразнообразия / UNEP: Всемирный Центр Мониторинга Сохранения, Кембридж, Великобритания, 2011. – 40 с.
7. Руководящие указания по применению экологических показателей в странах восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. – Женева. 2006. – 105 с.
8. European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Munich, Germany: Siemens AG, 2009. – 100 p. – Электр. ресурс. URL: www.siemens.com/greencityindex (29.10.2012).
9. Dale, V.H. & Beyeler, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1, 2001. – pp. 3 – 10.
10. Справочное пособие по экологической оценке. Том 1 – 3. – World Bank, Washington, 1991.
11. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей (2005 – 2007/2008 годы). – К.: Политехника, 2008. – 331 с.
12. Глобальная экологическая перспектива: ГЕО4 окружающая среда для развития. // Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, 2007. – 572 с.
13. Глобальная перспектива в области биоразнообразия 4. Промежуточная оценка прогресса в осуществлении стратегического плана в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011 – 2020 годы. Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии Монреаль, 2014. – 155 с. – Электр. ресурс. URL: www.cbd.int/GBO4 (25.10.2013).

14. Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Экосистемы и благосостояние человека: биоразнообразии // Институт мировых ресурсов, Вашингтон, округ Колумбия, 2005. – 86 с.
15. Розенберг Г.С., Шитиков В.К. О соотношении математики и биологии в экологии // Количественные методы экологии и гидробиологии / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 228 – 233.
16. Toxicology and Risk Assessment. Principles, Methods, and Applications. Anna M. Fan, Louis W. Chang. 1996.
17. Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Vincent T. Covvello, Miley W. Merkhofer. Plenum Press, 1993.
18. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Электр. ресурс. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=12460> (21.10.2013).
19. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: НУМЦ Минприроды России, 1996. – 207 с.
20. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практика управления качеством окружающей среды. – С.-Пб.: Дейта, 1997. – 100 с.
21. Куценко С.А. Основы токсикологии. – С.-Пб., 2002. – 395 с.
22. Cockerham L.G., Shane B.S. (Ed.). Basic Environmental Toxicology. – Boca Raton, FL: CRC Press, 1994. – 627 p.
23. Cairns, J. Jr., McCormick, P.V. Developing an ecosystem-based capability for ecological risk assessments. *Eviron. Profession* 14, 1992. – pp. 186 – 196.
24. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 91 – 129.
25. Доклады о человеческом развитии (1990 – 2013 гг.). – Электр. ресурс. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.09.2013).
26. Доклад «Живая планета» / Всемирный фонд дикой природы. Пер. с англ. 2006, 2008, 2010, 2012. – Электр. ресурс. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/436>, <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584> (10.11.12).
27. Планета-сад. Глобальный экологический отчет 2012 года. Пристальный взгляд на зеленые насаждения в городах мира Husqvarna group. – 60 с. – Электр. ресурс. URL: www.husqvarnagroup.com (20.09.2013).
28. Доклад о мировом развитии. Пер. с англ. публикации Всемирного банка: 2000 – 2012. М.: Весь мир. – Электр. ресурс. URL: <http://www.vesmirbooks.ru/books/reports/wdr/>, www.worldbank.org (15.09.2013).
29. Защита окружающей среды Европы – Четвертая оценка. Европейское агентство по окружающей среде, Копенгаген. Дания: Schultz Grafisk, 2007. – 452 с. – Электр. ресурс. URL: eea.europa.eu (13.05.2013).
30. Украина в мире. Обзор международных индексов. Фонд «Эффективное управление». – 64 с. – Электр. ресурс. URL: www.feg.org.ua, www.competitiveukraine.org (20.10.2013).
31. Отчет о конкурентоспособности регионов Украины 2013. Навстречу экономическому росту и процветанию. Фонд «Эффективное управление», Украина. 2013. – 236 с. – Электр. ресурс. URL: www.feg.org.ua/uploadfiles/ckfinder/files/reports/2013/FEG_report_2013_body_rus.pdf (21.11.2013).
32. Методика вимірювання людського розвитку регіонів України. К.: Державний комітет статистики України, Національна академія наук України, Рада по вивченню продуктивних сил України, 2001. – 34 с.
33. Ukraine human development report. United nations developmen programme Kyiv, Ukraine. United Nations Development Programme. 2001, 2003, 2008. – Электр. ресурс. URL: <http://www.un.kiev.ua>, www.un.kiev.ua/ua/NHDR/index.php (12.03.2013).
34. Колдобская Н.А. Методические подходы к оценке антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере Московской области // Экология и промышленность России. – 2013. – № ноябрь 2013. – С. 28 – 33.
35. Сравнение стран. Описание индексов. Рейтинг регионов. Проект фонда «Эффективное управление» – Электр. ресурс. URL: http://www.feg.org.ua/cms/opisanie_indeksov.html (25.10.2013).
36. Форрестер Д. Мировая динамика. – М.: АСТ, 2003. – 379 с.
37. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
38. Goodman, Michael. Study Notes in System Dynamics. Pegasus, 1989.
39. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.

40. Бергаланфи Л. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М., 1969. – С. 23 – 82.
41. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: ВГАУ, 1996. – 126 с.
42. Артюхов В.В. Общая теория систем: самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. М.: Книжный дом «Либроком», 2009.
43. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. Издательство «Академия Естествознания», 2009. – Электр. ресурс. URL: <http://www.monographies.ru/31> (05.11.2013).
44. Артюхов В.В., Мартынов А.С. Системная методология оценки устойчивости природно-антропогенных комплексов: теория, алгоритмы, количественные оценки. 2013. – 142 с. – Электр. ресурс, URL: <http://www.sci.aha.ru/ots/Metodology.pdf>, www.sci.aha.ru (07.11.2013).
45. Бочаров В.Л. Мониторинг природно-технических экосистем / В.Л. Бочаров, Ю.М. Зинюков, Л.А. Смоляницкий. Воронеж: Истоки, 2000. – 226 с.
46. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: Воронежский госагроуниверситет, 1996.
47. Кузнецов В.И. Возможность проведения прикладной комплексной оценки экологического состояния территории города // Комплексная экологическая оценка. С.-Пб., 1994.
48. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 383 с.
49. База данных Программы развития ООН. – Электр. ресурс, URL: <http://hdr.undp.org/en/data> (02.08.2013).
50. База данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка. – Электр. ресурс. URL: <http://data.worldbank.org/> (02.08.2013).
51. Торговля. Экономика. Международный Интернет-ресурс о развитии стран мира. – Электр. ресурс. URL: <http://www.tradingeconomics.com/> (02.08.13).
52. Глобальная база данных по биоразнообразию – GBIF. – Электр. ресурс. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/> (25.07.13).
53. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Электр. ресурс, URL: <http://genomics.senescence.info/species/> (25.07.13).
54. Базы данных проекта «Биоразнообразие России». – Электр. ресурс. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/ (25.07.13).
55. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 1: теория и методика оценки // Труды ДонНТУ: Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2012. – № 1 (2) – 2(3). – С. 75 – 92.
56. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: расчеты, анализ данных и результаты. // Труды ДонНТУ: Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2013. – № 1 (4) – 2(5).
57. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Применение методов интеллектуального анализа данных при оценке развития Украины. Міжвідомчий збірник наукових праць. Геотехнічна механіка. Випуск 112. Дніпропетровськ, 2013. С. 242 – 255.
58. Звягинцева А.В. Методы комплексного анализа информации в оценке уровня развития регионов Украины // Матеріали V наук.-практ. конференції «ДОНБАС-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених», Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 573 – 577.
59. Zviagintseva A.V. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth / Materialy IX mezinarodni vedecko – prakticka konference “Moderni vymoženosti vědy – 2013”. – Dil 59. Biologicke vědy: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. St. 12 – 20.
60. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Часть 2. Практическое применение методики оценки риска при загрязнении атмосферы // Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки. № 1/2007. С. 353 – 363.
61. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Закономерности формирования опасных процессов в сложных системах // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, випуск 9 (132). – Донецьк: ДонНТУ. 2008. – С. 221 – 232.
62. Звягинцева А.В. Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Украины // Геотехнічна механіка. Випуск 109. Дніпропетровськ, 2013. – С. 233 – 243.

Звягинцева Г.В. “Комплексна оцінка природно-антропогенних систем: пропозиції щодо розвитку методології”. Узагальнено наявні відомості щодо аналізу досліджень в області комплексної оцінки природно-антропогенних систем. Показано, що у даній науковій області існує ціла низка невирішених методологічних проблем. Основний недолік існуючої методології пов'язано з тим, що при комплексній оцінці природно-антропогенних систем використовуються переважно експертні методи та підходи. Тому в більшості випадків дослідження носять суб'єктивний характер, бо не враховують фундаментальних закономірностей природно-антропогенних систем. Нині основні напрямки й тенденції в області комплексної оцінки пов'язано з накопиченням та створенням усе більш великих баз даних показників стану, зміни та розвитку природно-антропогенних систем, застосуванням нових методів візуалізації та оцінки даних, використанням математичних методів аналізу даних, створенням інформаційно-аналітичних систем зберігання, обробки й представлення даних, розвитком методів комплексної оцінки, теорії оцінки ризиків і методів системної динаміки. Відзначається, що перспективи розвитку методології комплексної оцінки в дослідженнях екологічних, антропогенних, техногенних і біологічних процесів і явищ можуть бути пов'язані з конвергенцією методів системної динаміки і феноменологічних методів фізики суцільних середовищ і термодинаміки. У цьому плані пропонується розробка нових методів і засобів комплексної оцінки природно-антропогенних систем на основі використання баз даних показників, представлених у вигляді таблично-часових баз даних різних розмірів. Викладено наукові ідеї, спрямовані на розвиток методології комплексної оцінки, які полягають у прийнятті кількох гіпотез, що носять феноменологічний характер і можуть підтверджуватись або спростовуватись для даного виду природно-антропогенної системи на основі наявних дослідних даних. Зроблено припущення, що на основі баз даних показників та індикаторів з урахуванням феноменологічних описів процесів може бути створено безліч моделей у вигляді ймовірнісних залежностей. Зроблено висновки, що для вдосконалення систем оцінки небезпек і ризиків при впливах на природне середовище та людину необхідно застосування в дослідженнях природно-антропогенних систем природничо-наукових методів, які використовують феноменологічні підходи аналізу та опису фактичних даних.

Ключові слова: методологія, гіпотези, комплексна оцінка, природно-антропогенні системи, феноменологічні підходи, бази даних показників.

Zviagintseva A.V. “Comprehensive assessment of natural and human systems: proposals for the development methodology”. The available information on the analysis of research in the field of integrated assessment of natural and human systems. It is shown that in this area of science, there are a number of unresolved methodological problems. The main drawback of the existing methodology stems from the fact that a comprehensive assessment of natural and human systems are used primarily expert methods and approaches. Therefore, in most cases, studies are subjective, since it ignores the fundamental laws of natural and human systems. Currently, the main directions and trends in integrated assessment associated with the accumulation and the creation of ever more extensive databases indicators, change and development of natural and human systems, the use of new imaging techniques and evaluation of data using mathematical methods of data analysis and the creation of information-analytical storage, processing and presentation of data, development of integrated assessment, risk assessment theory and methods of system dynamics. It is noted that the prospects for an integrated assessment methodology in the study of environmental, man-made, technological and biological processes and phenomena may be related to the convergence of the methods of system dynamics and phenomenological methods of continuum physics and thermodynamics. The plan proposed the development of new methods and tools for integrated assessment of natural and man-made systems based on the use of databases indicators presented in the form of a table-temporal databases of different sizes. Outlined the scientific ideas aimed at developing a methodology for integrated assessment is to take a few hypotheses that are phenomenological and can confirm or deny for this type of natural and anthropogenic systems on the available experimental data basis. It is suggested that, based on databases and indicators based on the phenomenological descriptions of processes can be created many models in the form of probabilistic dependencies. It is concluded that for the improvement of hazard and risk assessment at the impact on the environment and humans is necessary to use in studies of natural and human systems to natural methods that use phenomenological approaches to the analysis and description of the evidence.

Keywords: methodology, assumptions, integrated assessment, natural and human systems, phenomenological approaches, indicators database.

Статья поступила в редакцию 15.01.2014
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериным