

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

© 2015 Т.Ю. Анопченко, А.Д. Мурзин*

Ключевые слова: моделирование, социально-экологический риск, развитие урбанизированных территорий, интегральный показатель, модели множественного выбора.

Раскрывается проблема формирования эффективного подхода к моделированию интегрального показателя социально-экологического риска при разработке сценариев развития урбанизированных территорий. Доказана необходимость использования в социально-экологических моделях интегрального показателя риска, изучены способы свертки частных показателей и рассмотрены возможности учета множественности факторов риска. Результатом исследования является научное обоснование использования моделей множественного выбора для построения интегрального показателя социально-экологического риска территории.

Современная урбанизированная среда городских территорий в России характеризуется серьезными социально-экологическими нарушениями, обусловленными масштабными загрязнениями атмосферного воздуха, поверхностных и глубинных почв, а также водных объектов.

С середины 1990-х гг. эксперты отмечали положительную экологическую динамику урбанизированной среды, которая во многом обуславливалась характерным для данного периода спадом промышленного производства. Однако с началом экономического роста и с развитием производственных отношений в 2000-х гг. экологическая ситуация в городах показывает отрицательную динамику, ускоряющуюся в связи с высоким морально-физическим износом производственных мощностей. В нынешних условиях загрязнителю экономически выгоднее оплачивать штрафы, чем предотвращать экологические нарушения и модернизировать основные фонды. Эксплуатация принципа быстрой прибыли при экстенсивном использовании природных ресурсов способствует резкому увеличению нагрузки на окружающую природно-антропогенную среду городов.

Ухудшение экологических параметров окружающей среды и интенсификация воздействия человека на природу влекут за собой нарушения природно-антропогенной устойчи-

вости и повышают вероятность негативных социально-экономических последствий как для отдельного предприятия, так и для городской агломерации, что выражается в повышении заболеваемости населения, в росте экономических потерь и бюджетных расходов.

В связи с обозначенными обстоятельствами моделирование процессов управления социально-экологическими рисками в процессе планирования развития урбанизированных территорий является актуальным и затрагивает интересы всего общественного сообщества, определяя долгосрочные приоритеты в обеспечении безопасности окружающей среды.

Вопросы моделирования экологических и экономических взаимосвязей, а также процессов воздействия экономических факторов на окружающую среду в глобальном аспекте в своих работах затрагивали известные ученые В.В. Леонтьев, Д.Х. Медоуз, М.Д. Месарович и др. Мезоуровень социально-экологического моделирования и проблемы социально-экономической оценки ущербов от загрязнения окружающей среды рассматривались Э.В. Гирусовым, В.И. Гурманым, В.И. Даниловым-Данильяном, Е.В. Рюминой и другими исследователями. Отдельные задачи экономико-математического моделирования управления эколого-экономическими рисками решались Т.Ю. Анопченко, И.М. Потравным, Н.П. Тихомировым и другими специалистами.

* Мурзин Антон Дмитриевич, кандидат экономических наук, доцент; Анопченко Татьяна Юрьевна, доктор экономических наук, профессор. - Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону. E-mail: vestnik_sgeu@mail.ru.

В то же время многие исследователи в качестве информационной основы используют данные официальных публикаций о загрязнении окружающей среды, в которых, как правило, не учитываются несанкционированные сбросы и выбросы, что обуславливает недостаточно объективный характер получаемых результатов и снижает практическую значимость выводов. Совокупности критериев, используемые для оценки экологического состояния окружающей среды, зачастую отражают лишь степень антропогенного влияния деятельности человека и не учитывают рисков социального ущерба.

Несмотря на подверженность урбанизированных территорий разнообразным социально-экологическим рискам, в настоящее время практически отсутствуют научные работы, посвященные комплексному исследованию их природы, уровня влияния на социально-экономические показатели и однородность развития города. Также полностью не исследованы некоторые практические задачи данной области, например, связанные с ранжированием и сравнительным анализом объектов по степени социально-экономических рисков.

В настоящее время существует множество подходов к определению понятия риска, при этом в каждой сфере общественной жизнедеятельности преобладают свои трактовки.

Английским синонимом понятия “риск” является слово “опасность” (danger). Н.В. Хохлов определяет риск как “случайное событие, наносящее ущерб объекту” [38], в работе М.В. Грачевой под риском понимается “событие (возможная опасность), которое может случиться, а может и не произойти” [30]. Другими словами, в российской практике при интерпретации понятия риска также подразумевается опасность, характеризующая “объективно существующую возможность негативного воздействия на исследуемый объект, способного принести какой-либо ущерб, вред” [36]. Следовательно, понятия риска и опасности выступают сопоставимыми синонимами, а термин ущерба характеризует потери, возникающие в результате изменения состояния, режимов функционирования объекта вследствие неблагоприятных событий.

Риск может определяться как качественными, так и количественными параметрами. К первым относится факт свершения или отсутствия рискового события, вторые могут быть представлены величиной потерь (ущерба) объекта при реализации неблагоприятных факторов, вероятностью неблагоприятного события, показателем среднего риска (среднеожидаемых потерь) [36], коэффициентами и/или индексами опасности [13, 41] и др.

В некоторых случаях понятия “риск” и “мера риска” могут отождествляться, характеризуя тем самым вероятность наступления неблагоприятных событий [13, 40]. Так, например, Федеральный закон РФ от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ “О техническом регулировании” определяет риск как “вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда”.

Изменение масштабов и усложнение взаимодействия человека и природы, рост степени воздействия человеческой деятельности на окружающую среду обуславливают проявление экологических и социально-экологических рисков. Исторически данный процесс может быть разделен на три этапа.

Начальный этап характеризуется односторонним воздействием, при котором только человек был подвержен данным рискам (рис. 1). На этом этапе происходило постепенное осознание возможных опасностей, человек стремился удовлетворить свои базовые потребности, что побуждало его развивать сельское хозяйство, промышленность, медицину и пр. Указанные обстоятельства привели к первому экологическому кризису - консументов и продуцентов [7], хотя антропогенное воздействие на природу было тогда сравнительно невелико.

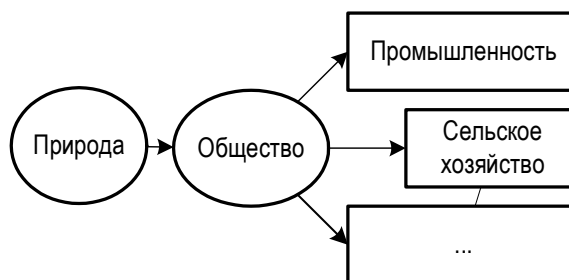


Рис. 1. Первый этап взаимодействия человека и природы

На втором этапе происходило ослабление воздействия природы на человека в силу развития отраслей промышленности, сельского хозяйства и медицины, которые стали выполнять функции защитного барьера (рис. 2). Но развивая данные сферы, общество стало оказывать все более ощутимое воздействие на природную среду, что в итоге привело ко второму экологическому кризису - редуцентом и термодинамики [16]. Данный этап позволил осознать факт подверженности самой природы различным опасностям, в том числе вызываемым деятельностью человека. В это время происходит возникновение явления экологического риска. Однако и человек по-прежнему подвержен природным рискам, он учится управлять ими и компенсировать их негативные последствия. В целом на данном этапе существенное увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду еще не превышало уровня потенциальной емкости (ассимиляционного потенциала) биосферы, что для общества и экономической сферы выражалось незначительным уровнем дополнительных рисков со стороны природной среды.

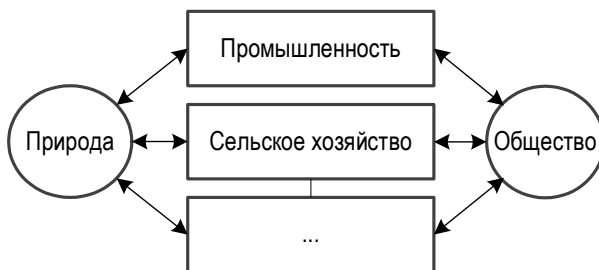


Рис. 2. Второй этап взаимодействия человека и природы

Современный этап, согласно исследованиям Денниса и Донеллы Медоуз, характеризуется превышением потребностей общества над возможностями природной среды, снижение качественных параметров которой становится более заметным [21], что, в свою очередь, обуславливает ограничения развития отраслей экономики и самого общества. Другими словами, в системе взаимодействия человека и природы возникают факторы, способствующие уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду. В настоящее время развитие общества как сложной социально-экономической системы сопровождается возникновением новых вопросов в процессе решения имеющихся проблем, на-

растанием противоречий между развитием отдельных подсистем и благополучием всей системы, низкой эффективностью методов воздействия на поведение системы в целом [37]. В результате данных процессов общество вынуждено мириться с потерями, связанными с экологическими нарушениями, воздействующими на человека не только косвенно, вследствие ускоренного износа основных фондов, но и напрямую - в результате повышения уровня заболеваемости и смертности населения, находящегося в загрязненной среде (рис. 3).



Рис. 3. Третий этап взаимодействия человека и природы

В настоящих условиях любая деятельность человека должна оцениваться с позиции безопасности для окружающей среды, т.е. должна сопровождаться анализом экологического риска. По мнению Н.Ф. Реймерса, экологический риск следует определять вероятностью экологически неблагоприятных последствий для любых антропогенных изменений природных объектов и факторов [29]. Другими словами, экологический риск рассматривается только в аспекте событий техногенного характера [11].

В российском законодательстве экологический риск определяется вероятностью наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера [24]. Иными словами, законодательством данный риск рассматривается уже в аспекте не только техногенных, но и природных, а также смешанных событий. Данная трактовка соответствует международной практике применения термина "ecological risk", которым характеризуется вероятность неблагоприятного воздействия на биосистемы, флору и фауну.

Вместе с тем, некоторые ученые склонны рассматривать экологический риск как гражданскую ответственность за ущерб, нанесенный окружающей среде, а также ущерб жизни и здоровью людей, количественно определяя его степень опасности возникновения негативных факторов для природной среды и здоровья людей [38]. Однако в законодательстве и нормативно-методических документах для характеристик неблагоприятного воздействия на здоровье людей используются понятия “риск для здоровья”, “риск нарушения санитарно-эпидемиологической обстановки”, “канцерогенный риск” и др. [24, 25], в то время как в практике международных организаций для описания данных рисков принято использовать термин “environmental risk”, т.е. риск, обусловленный воздействием на окружающую среду. По нашему мнению, данный вид рисков наиболее целесообразно идентифицировать как риск нанесения ущерба окружающей среде и не включать в данное понятие ущерб для человека.

Следовательно, социально-экологические риски могут быть адекватно определены как риски социально-экономических потерь и ущербов различным объектам вследствие ухудшения качественных параметров окружающей среды или экологических нарушений [36]. Экономическая составляющая данного определения характеризует принадлежность подверженных риску объектов экономической подсистеме, а понесенные ими потери – стоимостному выражению. Экологическая составляющая определяет природу риска и указывает на его причину.

Объектом социально-экологических рисков могут выступать отдельный индивидуум и население в целом, организация (предприятие), территориально-экологический комплекс, территориально-производственная система, регион, государство, мировое сообщество [36]. При этом ухудшение качественных параметров окружающей среды может иметь как эволюционный, так и катастрофический характер. Однако негативные изменения в окружающей среде не всегда приводят к возникновению экономического ущерба. Так, даже экологически обусловленные заболевания, а следовательно, и экономический ущерб возникают не у всех подвергших-

ся воздействию негативных факторов индивидуумов, но риск данного события, формирующий угрозу потери здоровья, имел место для каждого.

В результате реализации социально-экологических рисков проявляется социально-экономический ущерб, вызванный экологическими нарушениями (социо-эколого-экономический ущерб), который является однозначным свидетельством существовавшей угрозы, хотя она может быть вовремя не идентифицирована и адекватно не оценена.

Экологические нарушения могут быть разделены на несколько групп: вызываемые антропогенной деятельностью человека (выбросы и сбросы загрязняющих веществ, техногенные аварии) и возникающие в результате естественных природных процессов (стихийные бедствия), а также смешанного характера (катастрофические последствия антропогенной деятельности).

По нашему мнению, существует такая логическая последовательность формирования экономических ущербов от экологических факторов: 1) загрязнения, воздействуя на составляющие окружающей среды, в целом изменяют ее качественное состояние; 2) измененная среда, воздействуя на объекты-реципиенты, обуславливает экономический ущерб [32]. В качестве реципиентов измененной окружающей среды могут выступать население, жилищно-коммунальное и бытовое хозяйство, объекты сельского хозяйства, животные и растительные ресурсы, промышленные объекты, рекреационные ресурсы и лечебно-курортные зоны. Негативные последствия, определяющие натуральный ущерб реципиентов, могут проявляться гибелью людей, ухудшением состояния их здоровья, качества окружающей среды, сельскохозяйственных и рекреационно-оздоровительных ресурсов, потерями основных производственных фондов, объектов жилищно-коммунального хозяйства, снижением объемов производства продукции [32].

По данным Роспотребнадзора, на текущий момент идентифицируется около 20 хронических заболеваний (асбестоз, сидероз, йоккайтская астма, болезни Минамата, итай-итай, Юшо и др.), которые проявляются в результате действия негативных факторов окружающей среды [25]. Количественная оценка

экономического ущерба в данном случае может быть произведена по стоимостной оценке потерь от снижения или полной утраты работоспособности человека в результате болезни. Таким образом, при исследовании причин проявления многих нарушений здоровья трудно однозначно определить взаимосвязь конкретного заболевания и факторов негативного воздействия окружающей среды. Однако количественной оценке может быть подвергнута дополнительная вероятность развития определенных заболеваний для отдельных групп населения, а риск заболеваемости конкретного индивидуума может быть определен лишь с большой погрешностью.

В данной связи мы соглашаемся с нетождественностью понятий социально-экологического ущерба и риска. Это подтверждается исследованиями Е.В. Рюминой [31], в которых идет речь об “оценке экономического ущерба через категорию риска”. Следует разделять апостериорные, предполагающие как можно более точный учет всех потерь, и априорные, характеризующие возможные (потенциальные) потери, оценки экономического ущерба. Понятие риска, по нашему мнению, более соответствует априорной оценке ущерба. Определение величины ущерба в качестве меры риска сводится к задаче оценки социально-экологического ущерба. Однако мерой социально-экологического риска может выступать только вероятность какого-либо ущерба.

В аспекте риска последовательность формирования социально-экологического ущерба несколько видоизменяется: 1) загрязнение, воздействуя на составляющие окружающей среды, в целом изменяют ее качественное состояние; 2) реципиенты, функционируя в измененной среде, подвергаются социально-экологическим рискам.

Сопоставление объектов по уровню риска в условиях невозможности определения вероятности и величины потерь возможно на основе ранжирования соответствующего ущерба [40]. В этой связи следует обратить внимание на лично-субъективное восприятие риска. Так, субъект риска (инвестор, предприниматель, домохозяйство), как правило, интересуется не абсолютным уровнем риска какого-либо объекта и соответствием его нормальным значениям, а его относительной ве-

личной в сравнении с аналогичными объектами. Кроме того, рассматриваемый объект может быть одновременно подвержен воздействию нескольких факторов риска, для оценки которых необходимо использовать единый показатель и ранжировать несколько объектов по величине интегрального риска или по динамике риска для исследуемого объекта. Данный подход должен расцениваться не как вынужденная мера в условиях неполноты информации, а в качестве дополнительного инструмента оценки и управления риском.

Содержание термина и выявление соответствующей меры риска определяется конкретной областью их применения, объемом доступной информации, качеством и формами ее представления, сферами использования результатов, поэтому необходимо подробно рассмотреть существующие подходы и методы оценки социально-экологического риска.

Важным аспектом разработки социо-эколого-экономических моделей является определение групп и систем показателей, характеризующих состояния и качественные параметры окружающей природно-антропогенной среды. Как правило, во внимание принимается какой-либо один из возможных показателей: количество доступных природных ресурсов, абсолютный объем выброса / сброса загрязняющих веществ, их концентрация и т.д. Однако, по нашему мнению, для оценки социально-экологических факторов риска территориальных систем необходимо использовать более обширную информацию, т.е. может возникнуть потребность в интеграции показателей качества, состояния, безопасности и устойчивости окружающей среды в единый критерий, характеризующий определенную территорию.

В исследованиях Л.П. Бакуменко и П.А. Короткова приведен обзор мировой практики формирования интегральных индикаторов состояния окружающей среды [5], наиболее известными из которых являются “экологический след”, “живая планета” и “экологическая устойчивость”.

Экологический след обозначает ресурсную потребность общества, измеряемую эквивалентной продуктивной площадью территории или акватории, необходимой для удовлетворения этой потребности и утилизации

образуемых отходов [46]. Методология формирования экологического следа основана на нескольких предпосылках:

- ◆ человек выступает неотъемлемым компонентом обеспечивающей его экосистемы;
- ◆ главную цель воздействия человека на экосистему составляют извлечение и потребление энергии и материалов;
- ◆ объем добываемых энергетических и материальных ресурсов может измеряться площадью обеспечивающей или ассимилирующей их территории.

Экологический след отдельного региона может зависеть от численности его населения, уровня и качества жизни, территориальной продуктивности, эффективности использования природных ресурсов. Для сопоставления показателя экологического следа территории различных регионов может быть использован критерий “глобального гектара”, характеризующийся усредненной продуктивностью территории. Статистические наблюдения показателя экологического следа выявили прямую корреляцию его значений с уровнем дохода населения региона, т.е. чем благополучнее урбанизированные территории, тем больше их влияние на экологию [45].

По структуре показатель экологического следа является статическим, но несмотря на это, он вполне пригоден для использования в моделях, направленных на исследование влияния изменений образа жизни и уровня технологий на окружающую среду, в целях разработки политика устойчивого развития территорий. Данный показатель позволяет ранжировать территории и выделять “должников” и “кредиторов”, а также рассчитывать экологический индекс человека, но не включает в себя социально-экономических параметров [45]. Поэтому данный показатель не может рассматриваться в качестве обобщающей характеристики взаимодействия социума и окружающей среды и предполагает дополнительный учет социальных индикаторов. Кроме того, при определении показателя экологического следа не учитывается фактор доступности пресной воды, являющейся важным для человека ресурсом экосистемы, который невозможно отразить в глобальных гектарах. Измерение доступности водных ресурсов принято производить индикатором водного стресса, характеризующим объем

водных ресурсов, изымаемых из поверхностных и подземных источников, в долях от нормативно допустимого уровня.

Индекс “живая планета” определяется биоразнообразием территории и включает в себя учет изменения популяции традиционных видов животных. За последние 30 лет данный показатель снизился на 30 %, что обусловливается быстрыми темпами разрушения экосистем.

Для определения индекса экологической устойчивости (Environmental Sustainability Index, ESI), разработанного в Йельском университете (Нью-Хейвен, Коннектикут, США), используется комплекс из 76 индикаторов, сгруппированных в 5 глобальных компонент (см. таблицу).

Свертке данных показателей в единый индекс должны предшествовать их нормирование, проверка пропущенных данных различными методами (имитационное моделирование, регрессионный анализ и др.), их винзорирование. Непосредственно свертка производится суммированием всех показателей с равными весами, что обусловлено необходимостью простоты, прозрачности сводного индикатора и способствует расширению сферы его применения.

Произведенные расчеты индекса экологической устойчивости с экспертно заданными весами и расчеты весов на основе анализа индикаторов методом главных компонент не обнаруживают существенных расхождений в полученных результатах [43]. Результатом применения последнего метода является получение 6 главных компонент, позволяющих объяснить до 75% дисперсии исходных показателей, сильно коррелированных с полученными компонентами. Данное обстоятельство свидетельствует о важности учета всех включенных в расчеты показателей и о многомерности критерия экологической устойчивости, которая не может описываться ограниченным количеством показателей [43].

Следует учесть результаты сопоставления индексов экологической устойчивости и экологического следа, который включается в расчет сводного индекса (см. таблицу, п. 2). В этой связи естественной является обнаруженная обратная корреляция индекса экологического следа и показателя давления отходов и

Система индикаторов индекса экологической устойчивости территории

Компонента	Перечень критериев ESI
1. Состояние окружающей среды (17)*	1.1 - качественные параметры воздушных ресурсов (4) 1.2 - качественные параметры водных ресурсов (4) 1.3 - количественные параметры водных ресурсов (2) 1.4 - качественные параметры земельных ресурсов (2) 1.5 - параметры биоразнообразия (5)
2. Снижение воздействия на экологические ресурсы (21)	2.1 - снижение загрязнения воздушных ресурсов (5) 2.2 - снижение давления на экосистему территории (3) 2.3 - уменьшение давления отходов и потребления (4) 2.4 - снижение давления на водные ресурсы (4) 2.5 - рационализация управления природными ресурсами (5)
3. Уменьшение уязвимости человека (11)	3.1 - оздоровление окружающей природной среды (3) 3.2 - удовлетворение первичных потребностей человека (2) 3.3 - удовлетворение вторичных потребностей человека (2) 3.4 - снижение заболеваемости из-за загрязнения природы (2) 3.5 - снижение смертности из-за природных катаклизмов (2)
4. Социально-институциональный ответ на экологические вызовы (20)	4.1 - управление качеством окружающей среды (6) 4.2 - повышение экоэффективности территорий (2) 4.3 - экологическая ориентация образования (5) 4.4 - развитие экологических промышленных технологий (5) 4.5 - привлечение частного капитала в экологическую сферу (2)
5. Глобальный контроль экологического состояния территорий (7)	5.1 - участие в международных экологических проектах (3) 5.2 - контроль эмиссии парниковых газов (2) 5.3 - снижение трансграничного давления на территорию (2)

* В скобках здесь и далее приводится количество показателей, используемых для определения каждого критерия.

потребления, вариация которой объясняет до 15 % вариации индекса экологической устойчивости. Однако в целом корреляция данных индексов имеет положительный характер, т.е. территории, обладающие высоким уровнем потребления природных ресурсов, характеризуются положительной динамикой индекса экологической устойчивости.

По нашему мнению, несовместимость высокого уровня потребления ресурсов и экологической устойчивости региона в долгосрочной перспективе является бесспорной, однако слабость экологического следа тоже не гарантирует экологическую устойчивость территории, поскольку может обуславливаться лишь низкой экономической активностью и малыми запасами природных ресурсов. В то же время территории и регионы, характеризующиеся сильным экологическим следом и высоким уровнем экономической активности, имеют большой потенциал для защиты от негативного влияния загрязнений и для инвестирования в их снижение. Поэтому для повышения объективности сопоставления рассматриваемых индексов следует, как минимум, исключить из расчетов фактор дохода.

Тем не менее, индекс экологической устойчивости, являясь линейной функцией от исходных показателей, не действителен в условиях частичной некомпенсированности, когда для составляющих его показателей существуют критические значения, определяющие порог их компенсации за счет других показателей интегрального индикатора [2, 12]. Данное обстоятельство является главным аргументом несовершенства индекса экологической устойчивости, так как стремление повысить его значение может привести лишь к переходу от одного неустойчивого состояния окружающей среды к другому, декларируемому как улучшение ситуации.

В качестве основного вывода проведенного анализа мы утверждаем, что необходимо признание полезности агрегированного уровня подобных индексов, но с учетом ограниченности их применения, обусловленной как отсутствием возможности учета взаимного влияния и связи включаемых в них показателей, так и слабой идентификацией проблемной области. Дезагрегированные показатели в этой связи, по нашему мнению, в отражении проблем территорий обладают

большими преимуществами, позволяющими эти проблемы своевременно диагностировать, чтобы принимать меры противодействия. Интеграция данных показателей целесообразна до уровня ключевых аспектов развития территории: социального (уровень здоровья, образования, жилищных условий, безопасности и др.), экологического (состояние воздушных, водных, земельных ресурсов, биоразнообразия и др.), экономического (уровень доходов, развития промышленности, межрегионального сотрудничества и др.).

Наиболее известными системами экологических показателей окружающей среды являются критерии устойчивого развития, предложенные ООН, экологические индикаторы, разработанные Организацией экономического сотрудничества и развития, индикаторы улучшения управления природопользованием, используемые Всемирным банком, а также комплекс критериев устойчивого развития Великобритании.

Индикаторы большинства существующих систем отбираются по их политической релевантности, аналитической обоснованности и возможности достоверного измерения. В основе такого выбора лежит модель “давление - состояние - реакция”. Первая составляющая данной модели характеризует “давление” человеческой деятельности на окружающую среду, “состояние” которой характеризуется изменением количества качественных природных ресурсов. Происходящие изменения формируют определенную “реакцию” общества в виде природоохранных и общеэкономических мероприятий либо отраслевой политики, а также в виде изменений общественного сознания и поведения.

“Давление” заключается в использовании природных ресурсов и в выбросах / сбросах загрязняющих веществ, которые тесно связаны с объемами производства и потребления в регионе. “Состояние” характеризуется уровнем качества окружающей среды (концентрация загрязняющих веществ, уровень критических нагрузок, состояние флоры и фауны и др.), а также качественно-количественными параметрами доступных природных ресурсов. “Реакция” отражает ответные действия общества на экологические проблемы и заключается в смягчении, адаптации или предотвращении негативного воздействия на

окружающую среду (финансирование мероприятий охраны окружающей среды за счет налогов, сборов и субсидий, сокращение площади загрязнений, вторичная переработка отходов и др.).

Данная модель позволяет своевременно выявлять причинно-следственные взаимосвязи социально-экологических условий жизни и экономической деятельности общества, способствует эффективному принятию управленческих решений и обеспечению прозрачности реализации политики решения возникающих проблем [26, 37]. Данная модель нашла широкое применение во многих системах индикаторов и, в частности, послужила основой для разработки европейских индикаторов воздействия Евростата.

В нашей стране проблема научного обоснования систем экологических индикаторов и интегральных критериев устойчивого развития также весьма актуальна. Так, в исследованиях О.В. Еклашевой предлагается комплекс индикаторов социоприродного развития, интегральный показатель которого представлен синтетическим индексом (СИ), характеризующимся суммой удельных производств физического, человеческого и экологического капитала (ПФК, ПЧК и ПЭК, соответственно) [14]. Физический и человеческий капиталы производятся социумом, экологический - биотой, а его величина определяется в пропорциях к удельной продуктивности окружающей среды.

В работах Я.Я. Вагаповой модель экономического роста предлагается основывать на экологическом индексе [7], учитывающем социально-экологические факторы развития и характеризующем изменения в окружающей среде за счет произведенных в году t объемов выбросов / сбросов загрязняющих веществ $x_1(t)$, площади нарушенных в результате хозяйствования земель $x_2(t)$ и объемы загрязненных водных ресурсов $x_3(t)$ в сравнении с базовым годом t_0 :

$$\theta(t) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \frac{x_i(t_0)}{x_i(t)}, \quad (1)$$

где α_i - веса, выбираемые исследователем,

$$\alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1.$$

Как видно из формулы (1), рост экологического индекса связан с уменьшением загрязнений окружающей среды.

Схема построения социального индекса $r(t)$ аналогична и предполагает оценку относительного изменения социальных показателей по сравнению с базовым годом t_0 , при этом учитываются показатели уровня здоровья населения $z_1(t)$, социальной безопасности $z_2(t)$ и благосостояния $z_3(t)$:

$$r(t) = \sum_{i=1}^3 \gamma_i z_i(t), \quad (2)$$

где γ_i - веса, т.е. $\gamma_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^3 \gamma_i = 1$.

Уровень здоровья населения $z_1(t)$ определяется на основе данных статистики, по показателям средней продолжительности жизни $z_{11}(t)$, заболеваемости населения на тысячу человек $z_{12}(t)$ и количества инвалидов в обществе $z_{13}(t)$:

$$z_1(t) = \beta_{11} \frac{z_{11}(t)}{z_{11}(t_0)} + \beta_{12} \frac{z_{12}(t_0)}{z_{12}(t)} + \beta_{13} \frac{z_{13}(t_0)}{z_{13}(t)}, \quad (3)$$

где β_{ij} - веса, $\beta_{ij} > 0$, $\sum_{i=1}^3 \beta_{ij} = 1$.

Для построения показателя социальной безопасности $z_2(t)$ учитываются уровень безработицы, расслоение общества, доля населения с уровнем дохода ниже прожиточного минимума и другие параметры. Показатель благосостояния $z_3(t)$ характеризуется обеспеченностью населения жильем, среднедушевым доходом и др.

Веса γ_i и β_{ij} определяются конкретной целью исследования. Так, для исследования степени влияния здоровья населения на экономический рост приоритет устанавливается для первого фактора ($\gamma_1 = 1, \gamma_2 = 0, \gamma_3 = 0$), для задания условий равной важности всех трех факторов их веса устанавливаются равно пропорционально ($\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \frac{1}{3}$).

Как видно из формулы (2), рост социального индекса обеспечивается при условии

улучшений в социальной сфере определенной территории. Следовательно, интегральный показатель устойчивого развития согласно данному методу представляет собой линейную функцию отдельных показателей с учетом их значимости (веса). Однако взвешивание каждого показателя является основным недостатком данного метода, поскольку такой подход характеризуется высоким субъективизмом.

А.Г. Шоломицкий предлагает проводить интегральную сравнительную оценку экологического состояния территорий на основе комплекса индикаторов, включающего в себя несколько блоков [41]: 1) антропогенное воздействие производственно-хозяйственной деятельности; 2) эффективность природоохраненных и ресурсосберегающих мероприятий; 3) уровень использования топливно-энергетических ресурсов. Интегральный показатель устойчивого развития предлагается рассчитывать последовательным суммированием оценок всех блоков с предварительным их нормированием и получением частных сравнительных оценок в результате простейших преобразований. Однако апробация данной методики обнаружила достаточно высокую степень неадекватности результатов оценок для отдельных территорий (до 38%).

Вместе с тем, следует отметить, что концептуальные основы систематизации элементов интегрального показателя состояния экологической подсистемы, подходящего для отечественных условий, сформулированы С.А. Айвазяном в работах, посвященных проблеме оценки качества жизни, где предложено интегральную характеристику условий жизнедеятельности определять на основе показателей "качество экологической ниши" и "уровень природно-климатических условий" [2]. Однако вопросы применения методов свертки показателей и способов интеграции экологических индикаторов межтерриториальных сравнений С.А. Айвазяном не рассматривались.

Показатель качества экологической ниши должен включать в себя пять частных критериев: качество воздушных, водных и почвенных ресурсов, а также биоразнообразие территории и состояние природной экосистемы. Уровень природно-климатических условий должен определяться на основе трех крите-

риев, которые подробно не рассмотрены по причине отсутствия стандартов и экологического мониторинга. В результате апробации данной методики построенный интегральный показатель качества жизни объясняет до 70% вариации апостериорных критериев.

Логически продолжают исследования данной проблемы работы Е.В. Рюминой, всецело посвященные проблеме построения интегрального показателя экологического состояния региона [33]. В данный интегральный показатель предлагается включать шесть элементов: состояние 1) воздушных, 2) водных, 3) земельных и 4) лесных ресурсов территории, 5) животного мира, а также 6) биоразнообразия. При этом не учитываются хранение и обезвреживание токсичных отходов. В процессе апробации данной методики экологическая устойчивость региона определялась индикаторами “качество техносферы” и “качество экосистемы”, расчеты которых объясняют до 79% вариации исходных показателей, а результаты анализа динамики индикаторов выявили тенденции роста сводного интегрального показателя, что означает возможность нивелирования снижения качества техносферы за счет быстрого роста качества экосистемы.

В общем случае социально-экологическое моделирование понимается как формализованное описание взаимосвязей и взаимовлияния социальных и экологических процессов, а социо-эколого-экономические модели представляют собой описательные механизмы глобального, регионального или территориального уровней взаимодействия социальной сферы и окружающей среды в процессе экономической деятельности [19].

На протяжении многих десятилетий считалось, что развития экономики и хозяйственной деятельности достаточно для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности человека, однако в последнее время все более очевидной становится проблема воспроизводства благоприятных природных условий, т.е. экономическая система включается в глобальную систему ноосферы планеты. Наименьшей единицей ноосферы, обладающей ценностью, является социально-экологическая система, а в некоторых случаях – социо-эколого-экономическая. Некоторые ученые уже касались проблемы выработки

принципов моделирования функционирования подобных систем [9, 23].

Главным принципом экономико-математического моделирования рисков социально-экологических систем, по нашему мнению, является принцип неопределенности, согласно которому, во-первых, существуют факторы, малое отклонение которых не влечет за собой значимых изменений устойчивого состояния системы, а во-вторых, отдельное свойство или качество какого-либо системного процесса действительно только в определенном момент времени и в текущих условиях. Следовательно, появляется необходимость учета случайного характера изменения факторов социально-экологических процессов на уровне отдельной территории.

Начальным этапом формулирования задач моделирования взаимодействия социальных, экологических и экономических процессов может быть признан период ощутимых последствий взаимного влияния деятельности человека и окружающей среды (1970-е гг.). В этот момент начинают появляться первые исследования и модели загрязнения окружающей среды и его воздействия на человека. Причиной зарождения данной научной области послужило нарастание негативных изменений в окружающей среде, обусловленных научно-технической революцией, слабым вниманием общества к экологическим проблемам и необходимостью выработки способов их нейтрализации [28].

Можно выделить два основных подхода к социально-экологическому моделированию (рис. 4) [22].

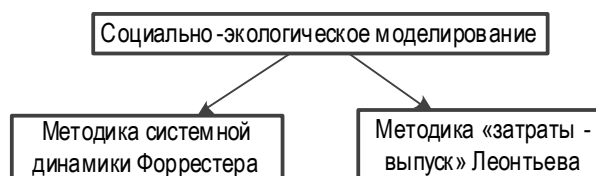


Рис. 4. Основные подходы к социально-экологическому моделированию

Первый подход основан на идеях Д. Форрестера, изложенных в работах “Мир-1”, “Мир-2” и “Мир-3”, над последней из которых трудился коллектив авторов под руководством Д. Медоуза [21, 37]. Данные исследования основаны на общей теории систем и принципах системной динамики, включая в себя серьезный математический аппа-

рат дифференциальных уравнений, а также компьютерные модели. Главным выводом авторов исследования, построенного на данных мировой экологической статистики, является утверждение о возможности достаточно скорой глобальной катастрофы при сохранении нынешних темпов роста численности населения, уровня потребления природных ресурсов и степени загрязнения окружающей среды [17].

Главной особенностью и недостатком данной модели является рассмотрение глобальной социально-экологической системы как единого целого, без деления на отдельные регионы и территории, которые могут обладать специфическими факторами развития. Определенную авторами цель данной модели составляют привлечение внимания общества к нарастающим экологическим проблемам, попытка повлиять на образ мышления и политическую волю общества. Инструментария управления отдельными территориальными системами эта модель не содержит, однако она послужила основой множества более сложных моделей следующего уровня, которые позволяют производить оценки воздействия управленческих решений на моделируемые социально-экологические и экономические процессы.

Одной из подобных разработок является имитационная модель К. Сайда [44], который рассматривает устойчивость социо-эколого-экономической системы, включающей в себя подсистемы природных ресурсов, народонаселения и управления как главные факторы развития территорий и регионов. В исследованиях О.В. Еклашевой, посвященных вопросам моделирования экономической динамики города в аспекте экологических факторов, последние понимаются как загрязнения окружающей среды и использование природных ресурсов, а система города представлена тремя подсистемами: экономической, экологической и социальной [14]. Однако существующие модели, как правило, изучают процессы управления ресурсами, касаясь социальной сферы только в аспекте численности населения и его ресурсной обеспеченности, не затрагивая вопросов качества жизни.

Другой моделью, разработанной для описания характера влияния деятельности человека на природную среду, является модель

“Гея”, разработанная под руководством академика Н.Н. Моисеева. Данная модель позволяет предсказать долгосрочные последствия ядерной войны в аспекте глобальных изменений климата и состояние биосферы. В результате данных исследований были серьезно переосмыслены возможные последствия гонки ядерных вооружений.

К началу 70-х гг. XX в. В.В. Леонтьев для учета экологического фактора межотраслевого баланса расширил свою теорию “затраты - выпуск” [18]. Расширенная теория в качестве результатов любой хозяйственной деятельности предполагает получение не только полезных, но и побочных продуктов, загрязняющих окружающую среду. В этой связи в модели межотраслевого баланса следует учесть возможность затрат определенных ресурсов на переработку побочных продуктов экономической деятельности, что может быть реализовано за счет создания специализированных производственных мощностей. Данный подход позволяет учесть факторы производства нежелательных побочных продуктов, которые зачастую игнорируются, но неизменно участвуют в формировании физических взаимосвязей, определяющих функциональное состояние социально-экономической системы.

Технические взаимосвязи уровней выпуска полезной и нежелательной продукции могут описываться терминами структурных коэффициентов, характеризующих взаимное влияние обычных отраслей производства и потребления. Для этого строятся обычная технологическая матрица и продуктовая матрица, характеризующая прямые затраты каждой отрасли на уничтожение единицы каждого вида загрязнения, а также матрицы коэффициентов выпуска загрязнителей на единицу полезной продукции отрасли и на единицу нейтрализованного загрязнителя другого вида, что позволяет учитывать вторичный эффект загрязнений.

Модель Форда - Леонтьева характеризует экономические потери, связанные с нейтрализацией загрязнителей, и цены, нивелирующие финансовые ресурсы различных отраслей, а также позволяет определить степень влияния возможных ценовых изменений на условия производства каждой природоохранной стратегии. Однако возможности

учета различных экологических факторов в межотраслевом балансе достаточно ограничены и лишь отчасти решают проблемы обеспечения экологической безопасности территории [15].

В дальнейшем была разработана глобальная модель эколого-экономических факторов мирового развития, учитывающая (наряду с производством продуктов питания, сельским хозяйством, торговлей, добычей природных ресурсов) и производство загрязнения окружающей среды. Концептуальные положения данной модели послужили основой для разработки множества моделей эколого-экономического баланса различного уровня. Например, исследователи Н.П. Тихомиров и И.М. Потравный предложили модель региона, основанную на уравнении динамики межотраслевого баланса и природных ресурсов [36]. Данная модель позволяет анализировать сценарии развития региона по нескольким эколого-экономическим показателям, учитывая, например, объем выпускаемой продукции всех агрегированных отраслей региона или степень концентрации загрязнителей в природных средах и др.

Однако все подобные модели остаются ориентированными на анализ технологического взаимодействия и взаимосвязей [1], а общество, качество жизни и факторы социально-экологического риска в них не учитываются, их искусственное внесение существенно усложняет и дезорганизует подобные модели, нарушает их основную концепцию и структуру.

Достоинством же моделей подобного типа является возможность их использования в качестве элементов более сложных моделей, которые позволяют оперировать одновременно несколькими переменными (например, природные ресурсы, материальное производство, объем загрязнителей) и предусматривают возможность управления. Так, к наиболее проработанным и известным в России имитационным моделям изучения социально-экологического и эколого-экономического взаимодействия на региональном уровне является модель "Регион", включающая в себя блоки межотраслевого баланса, экономического роста и загрязняющих веществ [22]. Данная модель позволяет за счет включения в нее блока межотраслевого ба-

ланса преодолеть проблему ошибочного многократного учета однородных потерь, которые могут суммироваться по всей цепочке промежуточных продуктов. Регион здесь рассматривается как открытая система, условно разделенная на три взаимосвязанные подсистемы: социальную, экологическую и экономическую, а процесс формирования экономического ущерба рассматривается на уровне зависимости состояния окружающей среды от уровня экономической деятельности и зависимости экономических результатов от качества окружающей среды. Взаимовлияние элементов социальной и экологической подсистем, а также степень воздействия на них отраслей экономики описываются здесь с помощью соответствующих матриц.

В современных условиях некоторые ученые отмечают необходимость включения в имитационные модели социально-экологических условий развития и блока инноваций [22], учет которых объясняется увеличением значимости нематериальных активов и модернизации целей экономического развития. Кроме того, появляются исследования зависимости экологической обстановки от роста производства в регионе, экономического развития города от качества окружающей среды, состояния социальной сферы урбанизированных территорий от уровня их экономического развития и др.

Так, В.А. Брок и ряд его последователей разработали модель взаимовлияния экономики и природной среды [42], рассматривающую экологический ущерб в качестве дополнительного фактора производства и характеризующую зависимость условий равновесия капитального фактора производства от загрязнений окружающей среды. П.А. Коротков в целях совершенствования основной модели экономического роста предлагает дополнить ее экологическим и социальным блоками вида задач Коши и оптимального уравнения [5], что позволяет сделать вывод о существенном влиянии факторов социального благополучия и качества окружающей среды в условиях сокращения численности населения на возможности сбалансированного экономического роста.

Приведенный В.Н. Бурковым и Д.А. Новиковым обзор отечественной практики моделирования социально-экологических и эко-

лого-экономических процессов, протекающих в социально-экономических системах [6], дает возможность выделить модели эколого-экономической системы, мониторинговые и имитационные модели, динамические и оптимизационные экологические модели, модели взаимовлияния социальной сферы и окружающей среды, модели биологической системы и ее элементов, а также и другие.

Особое место в практике моделирования занимают эконометрические модели социально-экологических факторов, характеризующие влияние состояния окружающей среды на здоровье человека [20], на состояние основных фондов [10] и др. Данные факторы учитывались в обобщенных моделях системной динамики при сопоставлении статистической информации о взаимосвязях исследуемых уровней систем. Однако их анализ ограничивался исследованием только пары уровней методами парной регрессии и затруднялся в связи со скрытым характером выявленных взаимосвязей внутри самой системы.

Развитие эконометрического аппарата способствовало расширению сферы решаемых социально-экологических задач. Например, исследования М.А. Цыганова позволили разработать комплексную модель социально-экологической безопасности региона [39], основанную на уравнениях регрессии, в которых в качестве зависимых переменных выступают объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, соотношение сбрасываемых загрязненных вод и водозабора, а также объемов токсичных отходов; в качестве независимых переменных - определенные методом главных компонент показатели производственного сектора экономики, развития строительства, охраны окружающей среды, а также временной фактор. Положительная динамика оцениваемых коэффициентов во времени, свидетельствующая о тенденциях роста исследуемых показателей всех уравнений регрессии, подтверждается при построении прогнозов зависимых переменных модели методами авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего. Также автором данной модели используются уравнения с распределенными лагами, характеризующими смертность населения, ожидаемую продолжительность жизни и уровень

заболеваемости, обусловленный изменением нагрузки на окружающую среду в расчете на душу населения.

В результате апробации данной модели выявлены зависимости характеристик окружающей среды от параметров экономической деятельности и медико-демографических показателей. Таким образом, предлагаемая модель определяет схему формирования социально-экономического ущерба от экологических нарушений окружающей среды аналогично рассмотренной модели "Регион". Другими словами, предопределяется зависимость уровня антропогенного загрязнения окружающей среды от планируемого экономического роста по основным видам деятельности в краткосрочном периоде, что, в свою очередь, будет снижать уровень социально-экологической безопасности за счет постепенного ухудшения показателей заболеваемости и смертности населения согласно уравнениям с распределенными лагами. Подробный анализ этой модели также показал чисто формальный характер объединения данных уравнений в единую систему, так как каждое уравнение оценивается автором отдельно, не учитывая взаимовлияния социальной, экологической и экономической подсистем и не решая проблемы эндогенных регрессоров.

Вместе с тем, можно выделить некоторые работы, свободные от выявленных ранее недостатков, что обуславливается использованием в моделировании систем одновременных уравнений. Так, А.Ю. Пашковой в целях обеспечения комплексности оценок социально-экономического ущерба от экологических нарушений предложена модель "натуральный ущерб - социально-экологические и социально-экономические факторы" [27]:

$$\begin{cases} M = \alpha_0 + \alpha_1 A_2 + \alpha_2 D + \alpha_3 P + u_1; \\ P = \beta_0 + \beta_1 A_1 + \beta_2 G + \beta_3 Y + u_2; \\ Y = \varphi_0 + \varphi_1 M + u_3, \end{cases} \quad (4)$$

где M - заболеваемость населения на данной территории; A_1 и A_2 - соответственно, суммарный объем атмосферных выбросов загрязняющих веществ на душу населения от стационарных и нестационарных источников; G - суммарный объем сбросов загрязнителей в гидросферу на душу

населения; P - количество предприятий-загрязнителей на душу населения; D - обеспеченность населения медицинскими услугами; Y - уровень бедности; u_p, u_2, u_3 - случайные элементы уравнений регрессии.

Предполагается, что $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 > 0, \beta_1 > 0, \beta_2 > 0, \beta_3 < 0, \varphi_1 > 0$.

В процессе апробации данной модели указанным автором исследовалось состояние ряда регионов Российской Федерации. Полученные результаты подтвердили предположения о существенном негативном влиянии на величину ущерба факторов загрязнения атмосферы и повышения уровня общей экологической опасности, а благоприятное воздействие оказывают факторы удовлетворенности населения услугами здравоохранения. Однако в дальнейшем исследователь приходит к выводу, что стратегическое повышение качества медицинских услуг в целях минимизации социально-экономического ущерба от экологических нарушений не может быть признано эффективным ни для какого субъекта Российской Федерации. В процессе статистического анализа результатов применения модели выявлены существенные межрегиональные отличия уровней среднедушевого социально-экономического ущерба от экологических нарушений и определены эффективные типы природоохранительных стратегий для каждого исследуемого региона.

В исследованиях Т.Ю. Анопченко в целях стратегического управления эколого-экономическими рисками также предлагается модель "социально-экономический ущерб - экологические нарушения окружающей среды", но при описании указанных зависимостей используется не линейная, как в предыдущей работе, а степенная функция [4]:

$$\begin{cases} M = a_0 \cdot D^{\alpha_1} \cdot P^{\alpha_2} \cdot V^{\alpha_3} \cdot W^{\alpha_4}; \\ D = b_0 + b_1 I + b_2 L; \\ I = c_0 + c_1 M, \end{cases} \quad (5)$$

где M - заболеваемость населения; V и W - показатели загрязнителей; D - обеспеченность населения медицинским обслуживанием; I - уровень среднедушевого дохода; P - удовлетворенность потребностей в жилье.

Данная модель предполагает прямую зависимость объема ущерба здоровью населе-

ния от уровня воздействия загрязнителей, величины среднедушевого дохода, обеспеченности медицинскими услугами и качественным жильем, а уровня дохода - от состояния здоровья населения, что обусловлено потерями рабочего времени и понижением оплаты труда в случае высокой заболеваемости.

Обе рассмотренные модели для характеристики социально-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды используют критерий заболеваемости населения. По нашему мнению, предложения указанных авторов обладают некоторыми недостатками. Так, из уравнения общей экологической опасности следует, что в некоторых случаях рост динамики выбросов и сбросов способствует росту количества предприятий-загрязнителей на душу населения. К тому же сама характеристика уровня экологической опасности, выраженная не показателем количества предприятий загрязнителей или обеспеченности населения медицинским обслуживанием, представляется слабо объективной.

Таким образом, в рассмотренных моделях фактор риска учитывается не полностью, данное обстоятельство может привести к неверным выводам. Так, отсутствие внимания к факторам риска, по мнению Е.В. Рюминой [1], способствует формированию необоснованных утверждений о повышении экологической устойчивости территорий в условиях снижения качества техносферы за счет улучшения экосистемы, однако растущая антропогенная нагрузка на экосистему уже выступает рискогенным фактором. Следовательно, важным условием объективности социально-экологических моделей является использование показателей эколого-экономических рисков, причем ввиду подверженности объектов системы не единичным рискам, а их совокупному влиянию необходимо сопоставлять объекты риска по всем показателям, что обуславливает использование интегральных критериев риска.

Вопросы моделирования интегральных показателей затрагивались С.А. Айвазяном [2], который исследовал качество жизни населения в зависимости от возможности обучения и его формы представления в исходных статистических данных.

По нашему мнению, построение интегрального показателя социально-экологичес-

кого риска следует производить с помощью моделей упорядоченного множественного выбора, ведь использование линейной структуры интегральных показателей, в том числе полученных методом главных компонент, позволяет получить одинаковые оценки для неоднородных объектов. Кроме того, полное решение проблемы частичной некомпенсированности возможно лишь при использовании нелинейной структуры подобных моделей.

Использование моделей множественного выбора для построения интегральных показателей предполагает предварительную классификацию исследуемых объектов по уровню качества анализируемых интегральных свойств. Задача определения однородных групп объектов может решаться как классическими методами, в качестве которых рассматриваются иерархический и итерационный кластерный анализ, так и новейшими нейросетевыми методами классификации [4]. Еще одним подходом к типизации объектов по качеству интегральных свойств являются методы сжатия данных, предполагающие снижение размерности признакового пространства: компонентно-факторный анализ и многомерное шкалирование. Данные методы обладают как преимуществами, так и недостатками.

Метод многомерного шкалирования, по нашему мнению, является наиболее объективным для решения поставленной задачи. Многомерное шкалирование может осуществляться на основе трех подходов: линейного, нелинейного и неметрического (монотонного) [34]. Линейный подход В.С. Торнгенсона (W.S. Torgerson) заключается в пространственном ортогональном проектировании по заданным направлениям, характеризующимся некоторым разбросом значений. Нелинейный подход предполагает преобразование исходного пространства с минимальными искажениями исходных отличий на основе критериев качества, называемых “стрессом” и измеряющих степень расхождения исходных различий и результирующих расстояний. Аппарат нелинейной оптимизации направлен на определение конфигурации пространства, позволяющей минимизировать “стресс”.

Неметрический подход учитывает различия исходной матрицы и матрицы расстоя-

ний метрического пространства, предполагая не аппроксимацию этих различий, а подбор последовательности значений, характеризующихся монотонностью по отношению к исходным данным и максимальным соответствием точным расстояниям.

Следовательно, нелинейный и неметрический подходы не ограничиваются ортогональным проектированием, что является их преимуществом, и позволяют получить лучшее по сравнению с линейным подходом отображение значений в пространстве меньшей размерности за счет возможности увеличения больших и уменьшения меньших расстояний.

Все подходы многомерного шкалирования основываются на дистанционной модели, предполагающей приближение различий стимулов с помощью расстояний между соответствующими им точками. Как правило, данные расстояния определяются евклидовой метрикой, обладающей нечувствительностью к вращению осей и переносу начала координат [35]. Однако в настоящее время развитие компьютерных технологий позволяет реализовать в статистических пакетах более эффективные алгоритмы неметрического шкалирования.

Методы иерархического кластерного анализа и многомерного шкалирования схожи в использовании характеристик близости для получения представлений о структуре объектов. При этом кластерный подход предполагает для представления структуры объектов их качественные группировки, а подход многомерного шкалирования - количественные координатные представления объектов [35], которые, например, для двухуровневой шкалы представляются в виде точек на плоскости. Наглядность и простота данных методов в отражении результатов классификации объектов по уровню риска позволяют принимать управленческие решения более обоснованно.

Кластерный анализ предполагает единый метод группировки объектов, при котором все объекты одной группы должны отличаться от всех прочих объектов. Подход многомерного шкалирования менее требователен к исходной информации и позволяет объединять объекты в группы лишь на основе приблизительной степени их

схожести с другими объектами. Однако использование итерационных методов кластерного анализа (в том числе широко распространенного метода k -средних) для сопоставления объектов может привести к неточным результатам за счет применения евклидовой метрики в случае высокой корреляции анализируемых признаков, избежать которой при большом количестве признаков практически невозможно. Преодолеть указанную проблему удастся при использовании метрики махаланобинского типа и модификации исходного алгоритма [3], но, к сожалению, сегодня пока еще отсутствуют статистические пакеты, позволяющие реализовать данные задачи.

В отличие от многомерного шкалирования, которое по своей сути ближе к факторному, нежели к кластерному анализу, неметрическое шкалирование не требует подчиненности исследуемых данных многомерному нормальному распределению и их линейной зависимости, что позволяет использовать меньшее число факторов (осей координат) и проще интерпретировать результаты.

Оценка моделей множественного выбора может производиться методом максимального правдоподобия, который предполагает описание распределения ошибок модели на основе закона распределения - нормального, логистического или другого. Соблюдение данного условия в большинстве случаев не подвергается проверке, а выбор метода моделирования производится на основе их апостериорных сравнений. Однако в случае нарушения этих условий состоятельность полученных методом максимального правдоподобия оценок вызывает сомнения. Кроме того, в некоторых случаях распределение ошибок модели вообще не может быть описано известными законами распределения и требует использования других методов аппроксимации.

Модели множественного выбора также позволяют выявить факторы социально-экологических рисков. Однако данные модели, обладая несомненной практической полезностью при разработке сценариев социально-экономического развития города в части прогнозирования характерных для них рисков, не способны в полной мере отразить

взаимовлияние социально-экономических факторов развития и уровня эколого-экономических рисков. Так, в случае использования для характеристики уровня социально-экологических рисков количественных показателей ущерба, как, например, предлагается Т.Ю. Анопченко [4], учет обозначенных взаимосвязей возможен с помощью системы одновременных регрессионных уравнений. Однако следует учитывать, что данный подход не действует в случае количественно не определяемых показателей интегрального риска.

Для оценки качественных показателей интегрального риска нам представляется целесообразным переход от порядковой шкалы риска к номинальной, что хотя и допускает некоторую потерю информации, но вместе с тем позволяет применять многомерные модели бинарного выбора.

Таким образом, в соответствии с поставленной целью нами приведена характеристика социально-экологического риска как предмета исследования, научно обоснована необходимость использования в социально-экологических моделях интегрального показателя риска, отражающего состояние, качество и уровни устойчивости окружающей среды урбанизированных территорий. На основе анализа работ отечественных и зарубежных исследователей изучены способы свертки частных показателей, базирующиеся на принципах термодинамики и законах сохранения вещества и энергии, рассмотрены возможности учета множественности факторов, влияющих на вероятность проявления риска. Научным результатом исследования является предложение моделировать интегральный показатель социально-экологического риска, основываясь на моделях множественного выбора.

1. *Абрамян С.И., Лучшева В.В., Рюмина Е.В.* Эколого-экономическая эффективность инвестиционных проектов // Экономика природопользования: Обзорная информация. М. : ВИНТИ, 2002. Вып. 4. 16 с.

2. *Айвазян С.А.* Эконометрическое моделирование: сравнительный анализ интегральных характеристик качества жизни населения субъектов РФ / МЭСИ. М., 2002. 74 с.

3. *Анопченко Т.Ю., Пашкова А.Ю.* Разработка эконометрической модели оценки регионального экономического ущерба здоровью населения // Региональная экономика: теория и практика. 2008. № 10. С. 116-120.
4. *Анопченко Т.Ю.* Эколого-экономические риски урбанизированных территорий: концепция, причины, последствия: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. Ростов н/Д, 2008. 370 с.
5. *Бакуменко Л.П., Коротков П.А.* Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона // Прикладная эконометрика. 2008. № 1. С. 73-92.
6. *Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В.* Механизмы управления эколого-экономическими системами / под ред. акад. С.Н. Васильева. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2008. 244 с.
7. *Вагапова Я.Я.* Моделирование экономического роста с учетом экологического и социального факторов. М.: МАКС Пресс, 2007. 126 с.
8. *Воищева О.С.* Эконометрическое моделирование рейтинговых оценок в задачах обоснования маркетинговых решений: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. Воронеж, 2007. 25 с.
9. *Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н.* Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
10. *Дворецкий Л.М.* Экологическая составляющая экономической оценки недвижимости: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2006. 27 с.
11. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: [б.и.], 1989.
12. Доклад о мировом развитии 2003 года. Устойчивое развитие в меняющемся мире: преобразование институтов, рост и качество жизни: пер. с англ. М.: Весь мир, 2003. 280 с.
13. *Дубров А.М., Лагоша Б.А., Хрусталева Е.Ю.* Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе. М.: Финансы и статистика, 1999. 176 с.
14. *Еклашева О.В.* Моделирование экологического фактора в экономической динамике города: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. М., 2004. 25 с.
15. *Кашенкова О.В.* Экологическая составляющая в оценке социально-экономического развития // Экономика природопользования. 2009. № 1. С. 14-24.
16. *Колесников С.И.* Природопользование. Ростов н/Д: [б.и.], 1999. 40 с.
17. *Красс М.С., Чупрынов Б.П.* Математические методы и модели. М.: Питер, 2010. 496 с.
18. *Леонтьев В.В.* Межотраслевая экономика: пер. с англ. М.: Экономика, 1997. 479 с.
19. *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь: словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2003. 520 с.
20. *Машинцов Е.А.* Оценка влияния экологических факторов окружающей среды на состояние здоровья населения антропогенно-нагруженных территорий на базе системного подхода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 03.00.16. Тула, 2007. 39 с.
21. *Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д.* Пределы роста: 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2007. 342 с.
22. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. М.: Наука, 2003. 172 с.
23. *Мурзин А.Д.* Принципы моделирования принятия решений по управлению социо-эколого-экономическими рисками развития городских территорий // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3. С. 626-629.
24. Об охране окружающей среды: федер. закон от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ.
25. *Онищенко Г.Г.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко; НИИ ЭЧ и ГОС. М., 2002. 408 с.
26. Оценка систем экологического контроля: материалы Международного семинара по индикаторам соблюдения норм экологического права и правоприменения, Париж, Франция, 3-4 нояб. 2003 г.) / Международная сеть по экологическому соответствию и правоприменению Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Париж, 2003. 177 с.
27. *Пашкова А.Ю.* Оценка ущерба от загрязнения окружающей среды в системе экологически безопасного развития экономики России: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Ростов н/Д, 2008. 26 с.
28. *Печчеи А.* Человеческие качества. М.: Прогресс, 1985. 312 с.
29. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 638 с.
30. Риск-менеджмент инвестиционного проекта / под ред. М.В. Грачевой. М.: ЮНИТИ, 2009. 544 с.
31. *Рюмина Е.В.* Анализ эколого-экономических взаимодействий. М.: Наука, 2000. 158 с.
32. *Рюмина Е.В.* Оценка экономического ущерба от экологических нарушений при разработке планов и программ // Проведение оценки воздействия на окружающую среду в государствах - участниках СНГ и странах Восточной Европы / Гос.

центр экологических программ. М., 2004. С. 33-40.

33. *Рюмина Е.В.* Экологические издержки экономики. М. : Изд-во МБА, 2011. 111 с.

34. *Терехина А.Ю.* Анализ данных методами многомерного шкалирования. М. : Наука, 1986. 168 с.

35. *Терехина А.Ю.* Многомерное шкалирование в психологии // Психологический журнал. 1983. № 1. Т/ 4. С. 76-88.

36. *Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова И.М.* Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 350 с.

37. *Форрестер Дж.* Мировая динамика. М. : Наука, 1978. 168 с.

38. *Хохлов Н.В.* Управление риском. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 1999. 239 с.

39. *Цыганов М.А.* Статистический анализ и прогнозирование антропогенного загрязнения окружающей среды в системе экологической безопасности региона (на примере Республики Мордовия) : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.12. Саранск, 2008. 21 с.

40. *Четыркин Е.М.* Финансовая математика. М. : Дело, 2004. 400 с.

41. *Шоломицкий А.Г.* Теория риска: выбор при неопределенности и моделирование риска. М. : Изд. дом ГУ ВШЭ, 2005. 400с.

42. *Brock W.A.* A polluted golden age // Economic of Natural and Environmental Resources. N.Y. : Gordon & Breach, 1977. 461 p.

43. Environmental Sustainability Index. Yale Center for Environmental Law and Policy Yale University, New Haven and Yale University Center for International Earth Science Information Network Columbia University. URL: <http://www.yale.edu/esi/>.

44. *Khalid Saied.* The Design of change for economic development: A behavioral modeling and simulation approach. Bangkok, Thailand : Asian Institute of Technology, 1988. 297 p.

45. Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment // Jo Dewulf and Herman Van Langenhove, eds. Chichester, UK : John Wiley and Sons, Inc., 2006. 384 p.

46. *Wackernagel M.A., Rees W.E.* Our Ecological Footprint. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 1996. 160 p.

Поступила в редакцию 03.12.2014 г.