

Метод анализа иерархий, взвешенная линейная комбинация в задачах оценки рыночной и кадастровой стоимостей, а также в задачах градостроительного зонирования в среде геоинформационной системы

Е.И. Нейман

кандидат технических наук, доцент, генеральный директор компании «РОСЭКО», член правления Русского общества оценщиков (г. Москва)

А.Б. Фингер

независимый консультант по разработке информационно-аналитических систем, самозанятый (г. Москва)

Г.П. Радионов

директор по развитию бизнеса компании «Инженерная геодезия и топография» (г. Москва)

А.В. Перлов

ведущий специалист отдела проектирования и разработки информационных систем компании «Инженерная геодезия и топография» (г. Санкт-Петербург)

В.И. Загоровский

руководитель отдела проектирования и разработки информационных систем компании «Инженерная геодезия и топография» (г. Санкт-Петербург)

Евгений Иосифович Нейман, rosec@bk.ru

Вопросы информационного обеспечения оценочной деятельности в том числе при индивидуальной и массовой оценке недвижимости, а также проблемы анализа при проведении градостроительного зонирования ставят перед специалистами в этих областях знаний широкий спектр задач, связанных с проблемой обеспечения связи различных количественных и качественных параметров для получения итоговой (искомой) величины.

В современных условиях отсутствие полноценной системы мониторинга рынка недвижимости в оценочной деятельности резко снижает эффективность результатов оценки в том числе при определении кадастровой стоимости. В настоящей статье рассматриваются один из возможных алгоритмов и его реализация для целей оценочного зонирования. Отсутствие таких инструментов, в частности, приводит к тому,

что в оценочной практике широкое распространение получили различного рода «справочники рыночных корректировок», обоснованность которых вызывает много вопросов.

Вместе с тем даже наличие ограниченного числа факторов, описывающих рынок недвижимости, уже сейчас позволяет получать вполне обоснованные (подтвержденные соответствующими расчетами) результаты, которые позволяют в том числе объективизировать результаты как индивидуальных, так и массовых оценок объектов недвижимости. В настоящее время эти результаты, по нашему мнению, могут быть полезны в первую очередь для выработки общих подходов при формировании региональных систем мониторинга рынка недвижимости, в которых заинтересованы как независимые оценщики, так и государственные структуры, осуществляющие про-

ведение кадастровой оценки.

Необходимо учитывать, что результаты определения кадастровой стоимости:

1) затрагивают как частные, так и публичные интересы, поэтому специалисты, выполняющие эту работу, должны иметь особую квалификацию;

2) должны обеспечивать реализацию принципов справедливости, пропорциональности, равенства, экономической обоснованности и эффективности налогообложения.

Таким образом, рассматривающиеся в статье вопросы представляют интерес как для государства, так и для общества в целом.

Поскольку базовым принципом определения кадастровой стоимости в Российской Федерации был принят принцип адвального, то есть максимально приближенного к рыночной стоимости, налогообложения, анализ рынка недвижимости и его результаты является ключевым вопросом для решения этой задачи.

В случае использования наблюдаемых рыночных цен как исходной информации для кадастровой оценки конкретного объекта его кадастровая стоимость должна определяться как цена на основном (или наиболее выгодном) сегменте рынка на дату оценки в текущих рыночных условиях.

Если по объектам кадастровой оценки отсутствует рынок на соответствующей территории или существует недостаток наблюдаемых рыночных данных, то кадастровая оценка осуществляется на основе рыночной ориентированной модели оценки кадастровой стоимости с учетом всех экономических характеристик объекта оценки, включая затраты на создание и экономические выгоды от использования.

Одним из элементов в системе мониторинга рынка недвижимости предполагается проведение оценочного зонирования. Цель оценочного зонирования – представление в графическом и семантическом виде информации о сложившейся на дату оценки ситуации на различных сегментах рынка

недвижимости, представленных в конкретных ценовых зонах. Следует отметить, что при фрагментарности данных о ценах предложений, а также при отсутствии данных о ценах сделок проведение оценочного зонирования с использованием цен реализовать практически невозможно.

Вместе с тем представление о ценности тех или иных территорий, базирующееся на экспертных оценках специалистов рынка недвижимости и представителей органов власти, могут быть получены посредством опросов и не требуют больших затрат. Экспертные оценки могут быть использованы для формирования представлений об относительной ценности территорий (оценочных зон). Выделение таких оценочных зон позволяет ограничить объем исследований собственно ценовой информации, сконцентрировать эти исследования на анализе объектов в выделенных зонах и в конечном счете повысить достоверность при определении как кадастровой, так и рыночной стоимостей. Результатом оценочного зонирования являются оценочные зоны, в которых показатель удельной ценности местоположения принимает близкие значения.

Оценочная зона – это часть территории, в границах которой в результате проведенного математического моделирования определены близкие по значению относительные удельные показатели ценности местоположения для выбранных сегментов рынка недвижимости.

В процессе преобразования и объединения географических данных и оценочных суждений для решения пространственных проблем применяются методы многокритериального анализа (Multiple-criteria decision analysis – MCDA) в среде геоинформационных систем (GIS-MCDA). Для этого в ходе оценки критериев учитываются модели географических данных, пространственное измерение критериев оценки и альтернативные варианты решений. Многокритериальный анализ позволяет оцифровать экспертное мнение в отношении отдельных конкурирующих факторов при оценке при-

годности участков в отношении городской застройки. Таким образом, можно ранжировать фрагменты предлагаемого к городской застройке участка по пригодности и относительной ценности. При этом каждому фактору соответствует свой растровый слой ($W: W_k$) в представлении с помощью геоинформационной системы (ГИС). При этом отдельные факторы имеют смысл абсолютного запрета (реки, озера, парковые зоны и т. п.). Этим факторам соответствуют свои отдельные слои ограничений (Constraints; $C: C_{ji} \in \{0, 1\}; i \in \{0, I\}, j \in \{0, J\}$). Здесь J – количество слоев ограничений, а I – количество пикселей в слое. Предназначенные для экспертной оценки слои ($X: X_k$), также как и слои ограничений, тоже находятся в интервале $[0, 1]$, но их значения должны быть получены либо оцифровкой качественных оценок, либо простым нормированием по сумме значений каждого пикселя в слое. Веса слоев ($W: W_k$) ранжируются экспертами на основании попарных сравнений в рамках метода анализа иерархий (МАИ, АНР) (см. [1, 2]).

Полученные в результате подобной процедуры, сочетающей МАИ и взвешенную линейную комбинацию (WLC) (см. [3, 4]), значения для каждого пикселя по каждому слою умножаются на значения пикселей слоев ограничений. Результирующее значение для каждого пикселя называется «индекс пригодности» (land suitable index – LSI):

$$LSI = \sum X_k W_k PC_j.$$

Подобный подход был реализован в 2013 году в виде дополнения к ArcGIS (MCDA4ArcMap) [5], которое позиционируется на рынке как свободное программное обеспечение в соответствии с лицензией Apache License 2.0. Проблемы принятия решений с использованием альтернатив в виде набора географически определенных мест решаются с использованием как пространственных, так и качественных критериев в среде географических информационных систем (ГИС).

Для реализации попарных сравнений использовался программный продукт Expert Choice.

В последние десятилетия появилось большое количество публикаций на эту тему, касающихся использования именно этих двух (Expert Choice и WLC) программных продуктов. В связи с принятым стратегическим решением об импортозамещении силами АО «РОСЭКО» и АО «ГОСИНФОТЕХ» была предложена реализация подобного подхода с помощью открытого Python-кода для АНР (МАИ) и WLC/OWA в среде программного продукта АО «ГОСИНФОТЕХ» ГИС «Циклон». Также подготовлена методика и разработаны инструменты для программной реализации модуля «Оценка кадастровой стоимости объектов недвижимости» автоматизированной информационной системы кадастра недвижимости Республики Абхазия. В частности, описаны некоторые приемы автоматизации попарных сравнений при большом количестве альтернатив и наличии численных значений характеристик для них, а также геостатистические методики исследований при малом объеме исходных данных. Методика АНР (МАИ) также реализована на основе открытого R или Python-кода с некоторыми модификациями. В рамках этого подхода был использован метод МАИ для построения модели ценностной поверхности анализируемых участков с учетом оцифровки экспертных оценок в отношении перспективных застроек, для которых рыночные показатели могут быть лишь приблизительно определены на основе весьма малых выборок. При этом для построения классов LSI были использованы в качестве первого приближения и оценки значимости открытые коды для построения Самоорганизующихся карт Кохонена (Kohonen neuronet, SOM) [6].

Следует отдельно отметить особенности работы со слоями в зависимости от способа их получения до применения подхода WLC-MCDA.

Применительно к рассматриваемой задаче, а именно определение относительной ценности территорий города, необходимо учитывать, как отмечается, например, в работе [7], что «развитие пространственной структуры, увеличение ее масштабов одновременно может быть представлено как процесс нарастания редкости конкретного территориального фрагмента. Именно этот процесс является причиной возникновения и последовательного нарастания пространственной ренты».

При использовании предсказательной статистики полезно знать вид функции, описывающей зависимость ценностных значений от ценообразующих параметров. Часто учитывается зависимость от удаленности от некоторых ценообразующих точек, линейных или площадных объектов (POI). В зависимости от положительного или отрицательного характера влияния ценообразующих факторов, расстояния от центров или границ конкретного участка территории его относительная ценность может как повышаться, так и уменьшаться. По мере удаления от центра влияния происходит увеличение числа и, соответственно, площади земельных участков, включаемых в рассмотрение (расчет). При этом обоснованно можно предположить, что количество и соответствующие площади земельных участков, имеющих равные или близкие численные значения величин относительных ценностей, снижаются обратно пропорционально увеличению площади. Поскольку интегралом гиперболы, по которой падает стоимость (в то время как увеличение площади возрастает пропорционально удаленности), является логарифмическая функция, величина относительных ценностей уменьшается логарифмически. Таким образом, следует обосновать логарифмическую зависимость относительной ценности земельного участка от удаленности от центра влияния. При этом влияние отрицательных факторов также имеет логарифмический характер.

Действительно, при наличии представительной выборки, кроме дистанции, исследователи традиционно рассматривают логарифм и экспоненту, обычно отдавая предпочтение логарифму в силу более значимой корреляции.

Оценочное зонирование, которое было проведено нами для условий города Сухума с целью определения кадастровой стоимости, включало следующие этапы:

1) для оцениваемой территории (город, сельское поселение) с использованием цифровых тематических карт строится сетка, покрывающая всю исследуемую территорию. В зависимости от общей площади исследуемой территории шаг сетки может составлять от 50 × 50 до 500 × 500 метров. Выбор шага разбиения исследуемой территории определяется исходя из получения результатов, не связанных с шагом разбиения. Рекомендованный шаг разбиения для города Сухума – 100 × 100 метров;

2) для выбранной сетки разбиения территории в каждом квадрате определяются координаты центра этого квадрата – координаты центроидов;

3) для выбранного сегмента рынка недвижимости исходя из основных ценообразующих факторов экспертами определяются зоны, повышающие (положительно влияющие) или понижающие (отрицательно влияющие) величину цен на объекты капитального строительства (далее – ОКС), и проводится их ранжирование;

4) определяются расстояния от каждого центроида до выделенных зон влияния. Влияние центров ценообразования на величину вклада ценности местоположения в цену объекта можно получить с использованием метода анализа иерархий (МАИ), в рамках которого возможно провести попарные сравнения влияния удаленности каждого центроида до центров влияния;

5) при проведении расчетов влияние удаленности центроида до центров влияния принималось по логарифмическому

закону, что соответствует допущению о влиянии удаленности на ценность фактора местоположения в итоговой величине цены ОКС;

6) в результате проведенных расчетов и их представления в виде цифровых карт выделяются оценочные зоны, в которых вклад величины ценности территории в величину как цены ОКС, так и кадастровой стоимости одинаковый (изменяется в одинаковом диапазоне).

Необходимо отметить, что собственно тематические слои и соответствующий последующий критериальный анализ могут базироваться на данных, полученных различными способами:

- в результате геологических изысканий;
- в результате экологических исследований;
- посредством метеонаблюдений;
- посредством сбора информации из внешних источников;
- на основании мнений экспертов;
- из других источников.

Полученные в результате данные о ценности земельных участков в зависимости от их качества и количества (вид распределения, дисперсия и т. п.) в имеющейся выборке могут быть аппроксимированы с помощью, например, таких геологически ориентированных методик, как кригинг [8], географически взвешенная регрессия (GWR) или метод обратных взвешенных расстояний (IDW) [9, 10], КРА [9, 10, 11], Кохонен-сеть и SOM, среднее или медианное значение по пикселям или хороплетам.

Если слой представляет ценностные сведения, особенно при дефиците данных, то можно привлекать оценочные суждения экспертов. Метод анализа иерархий (МАИ, АНР) здесь также применим.

Зная тип зависимости (как показано, логарифмический) относительной ценности участка от удаленности, можно рассчитать попарные отношения для каждой пары пикселей ценностного слоя относительно всех

POI (географически определенные факторы влияния, «точки интереса», «Point Of Interest»). Эти данные можно использовать как результат оценки пар альтернатив (пикселей) к критериям.

Значимость критериев в отношении главной цели (относительное ранжирование) можно определить попарными сравнениями с привлечением экспертов.

Таким образом, можно построить ценностную относительную модель анализируемой местности. Имея при этом сравнительно небольшую выборку, можно выполнить процедуру кокригинга, что позволит получить более точные результаты. Если выборка недостаточно велика и распределение несимметрично или ненормально, то можно масштабировать результат АНР- моделирования поверхности по среднему или медианному значению.

В качестве факторов и центров ценообразования в отношении главной цели – ранжирование центроидов (Goal: Range_Centroids) для города Сухума были выбраны следующие факторы (в скобках приведены идентификаторы в формате программного продукта Expert Choice):

1) географические факторы (Geographics factors):

- удаленность от промзоны (Prom-Zone);
- удаленность от исторического центра (HistZone_Leon);
- удаленность от Центрального городского рынка (Market);
- удаленность от береговой полосы Черного моря (Beach);

2) антропоморфные факторы (Anthropomorphic factors):

- транспортная доступность (Transport Availability);
- оснащенность элементами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) (Public Utilities).

Графически это показано на рисунке 1 (с. 26).

На рисунках 2–6 (с. 26–28) представлены результаты проведенных исследований.



Рис. 1. Иерархическая структура факторов влияния
(в формате программного продукта Expert Choice)

Фактор	Береговая полоса	Сухумский центральный рынок	Сухумское озеро Мусорный полигон Рыбзавод	ул. Леона Историческое ИЖС	Вес фактора
Береговая полоса	1	5	7	3	0,564
Сухумский центральный рынок	1/5	1	1	1/3	0,099
Сухумское озеро Мусорный полигон Рыбзавод	1/7	1	1	1/3	0,084
ул. Леона Историческое ИЖС	1/3	3	3	1	0,29

Рис. 2. Матрица попарных сравнений (уровень географических факторов) (индекс согласованности – 0,011, случайное согласованное отношение – 0,890, отношение согласованности – 0,012; матрица попарных сравнений является согласованной)

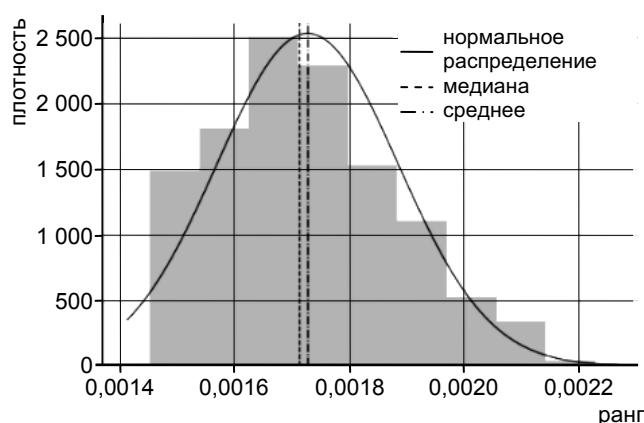


Рис. 3. Статистический анализ модельной поверхности всей выборки поверхности – гистограмма нормального распределения ($N = 579$, минимум – 0,00145, максимум – 0,00223, среднее – 0,00173, стандартное отклонение – 0,00158, стандартная ошибка – $6,55e^{-06}$, скошенность – 0,466, эксцесс – -0,31, 1-й квартиль – 0,00161, медиана – 0,00171, 3-й квартиль – 0,00183, квартильный размах – 0,000222, размах – 0,000774, Колмогоров-Смирнов $d = 0,501$, $p = 1,04e^{-134}$, Шапиро-Уилк $W = 0,974$, $p = 1,56e^{-08}$, Хорке-Бэра $JB = 23,3$, $p = 8,62e^{-06}$)

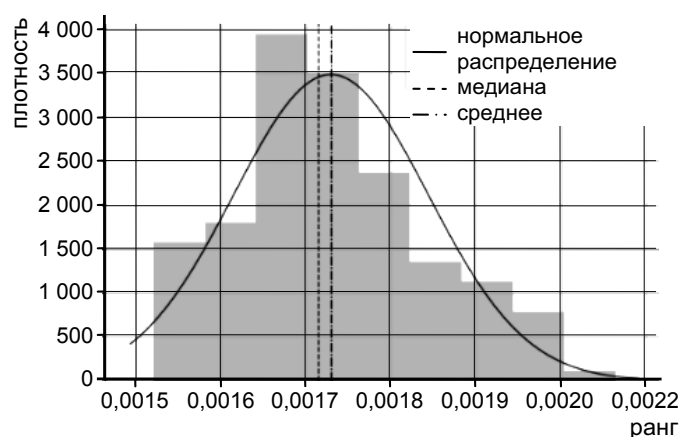


Рис. 4. Статистический анализ 4-го кластера модельной поверхности – гистограмма нормального распределения ($N = 147$, минимум – 0,00152, максимум – 0,00206, среднее – 0,00173, стандартное отклонение – 0,000115, стандартная ошибка – $9,49e^{-06}$, скошенность – 0,491, эксцесс – -0,162, 1-й квартиль – 0,00165, медиана – 0,00171, 3-й квартиль – 0,0018, квартильный размах – 0,000147, размах – 0,000544, Колмогоров-Смирнов $d = 0,501$, $p = 1,35e^{-34}$, Шапиро-Уилк $W = 0,976$, $p = 0,00983$, Хорке-Бэра $JB = 6,02$, $p = 0,0493$)

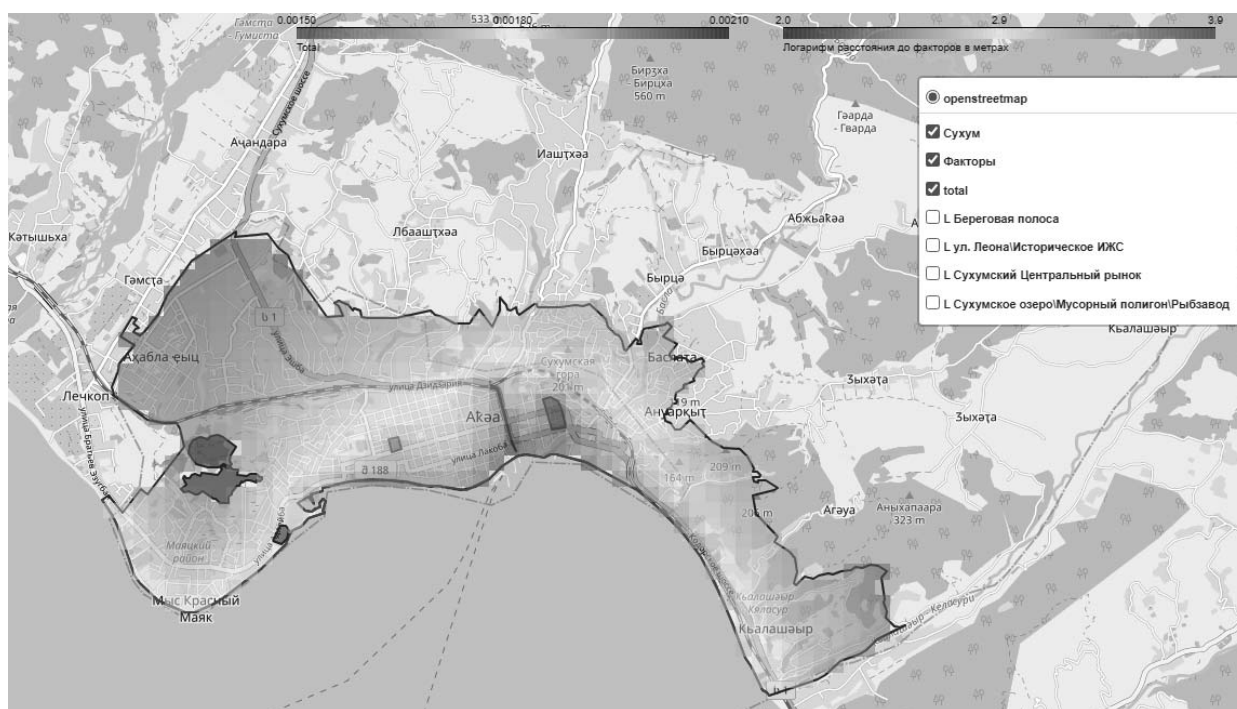


Рис. 5. Относительная ценность земельных участков в зависимости от ценообразующих факторов

Выводы

Выполнены построение и программная реализация методов анализа иерархий (МАИ), взвешенной линейной комбинации (WLC) с помощью открытого Python-кода для WLC/OWA в среде отечественного программного продукта ГИС «Циклон». Алго-

ритм реализован при оценочном зонировании города Сухума – установлены зоны относительной ценности территорий на основе экспертных оценок. Учитывая необходимость импортозамещения, алгоритм и программная реализация были осуществлены с использованием отечественной ГИС «Циклон» и продуктов с открытым ко-

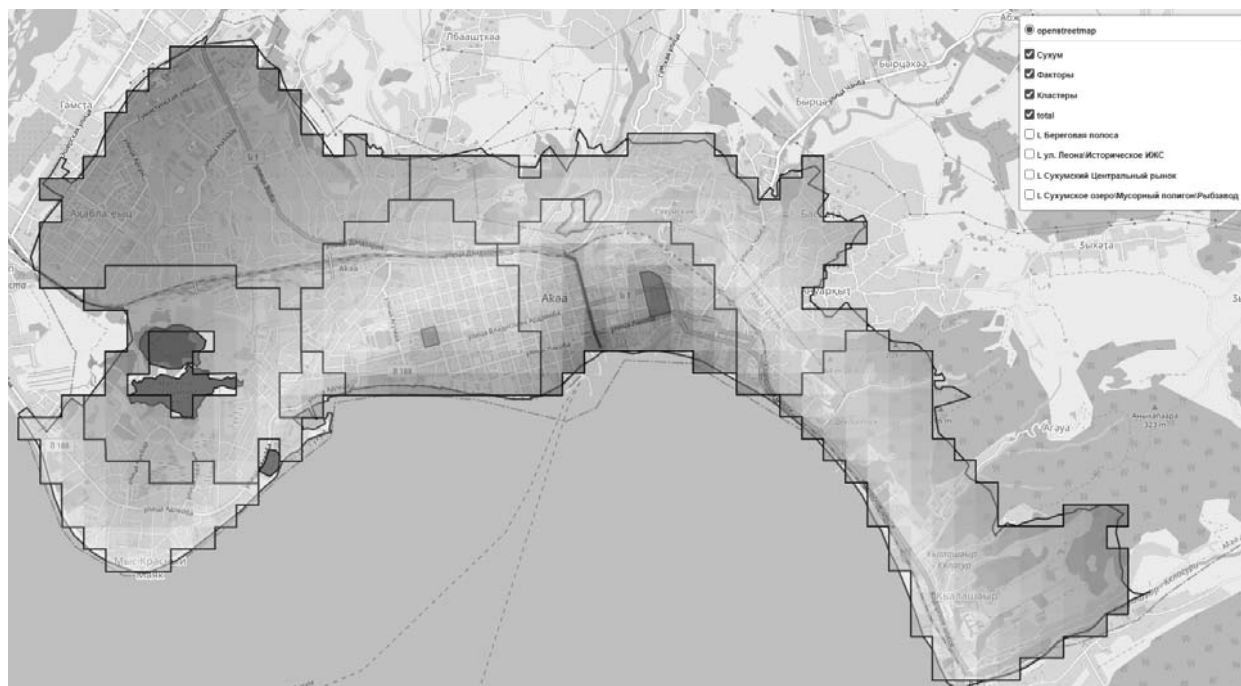


Рис. 6. Пример определения оценочных зон

дом из библиотек Python и R.

Предлагаемый алгоритм и программная реализация могут быть использованы при осуществлении проектов по оценке кадастровой стоимости. Они также могут быть включены в системы региональных баз данных при проведении мониторинга рынка недвижимости для целей индивидуальной и массовой оценки.

Разработанные программные средства позволяют решать целый комплекс иных прикладных задач, в том числе задачи градостроительного зонирования, выбора площадок для размещения сложных и опасных объектов, анализа экологической ситуации. GIS-MCDA – это альтернатива типичному бинарному анализу или анализу «совпадений», обеспечивающая более надежную методологию, основанную на критериях, поэтому он может поддерживать несколько значений ряда критериев одновременно.

Дополнительные статистические модели, такие как АНР (МАИ), АНР (аналити-

ческая иерархическая сеть) и ФАНР (МАИ с нечеткой логикой) (см. [12, 13, 14]), могут быть либо интегрированы в GIS-MCDA, либо доступны из среды отечественных BPMS¹, что, как правило, повышает надежность и общую значимость анализа.

Заинтересованные стороны или лица, принимающие решения, являются важнейшим компонентом, делающим многокритериальный анализ осуществимым и применимым. Они играют важную роль в определении весов критериев и факторов, однако они могут быть предвзятыми. Для осуществления обоснованного MCDA необходимо проведение анализа экспертных мнений и научных публикаций, в результате которого обычно устраняются несоответствия и предвзятости заинтересованных сторон.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вач-

¹ Business Process Management System (BPMS) – программное обеспечение, реализующее концепцию процессного управления, которая рассматривает компанию как сеть взаимосвязанных бизнес-процессов. Участие в них принимают сотрудники из разных департаментов. Задача процессного подхода – выстроить взаимодействие людей и порядок выполнения различных операций для получения быстрого и качественного результата.

надзе. М. : Радио и связь, 1993. 278 с.

2. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / пер. с англ. О. Н. Андрейчиковой. М. : Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.

3. Yager R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 1988. Volume 18. P. 183–190.

4. Yager R. R. (2017). OWA aggregation of multi-criteria with mixed uncertain satisfactions // Information Sciences, 417. P. 88–95. DOI <http://dx.doi.org/10.3233/JIFS-201374>

5. Feature article. Claus Rinner and Stefan Voss. MCDA4ArcMap – An Open-Source Multi-Criteria Decision Analysis and Geovisualization Tool for ArcGIS 10. Cartouche, 2 p. #86 Winter/Spring 2013: www.cca-acc.org

6. Kohonen T. (2001). Self-Organizing Maps. Third, extended edition. Springer. 397 p.

7. Кулаков К. Ю. Закономерности влияния факторов пространственной среды города на рыночную стоимость объектов городской недвижимости : дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2000. 178 с.

8. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Гео-статистика теория и практика / под ред. Р. В. Арутюняна. М. : Наука, 2010. 329 с.

9. Roger S. Bivand, Edzer J. Pebesma, Virgilio Gomez-Rubio. Applied Spatial Data Analysis with R. DOI 10.1007/978-0-387-78171-6

10. Krivoruchko Konstantin. Spatial statistical data analysis for GIS users. California, 2011. 928 p.

11. Standard on automated valuation models (AVMS). Published by International Association of Assessing Officers. 314 W 10th St. Kansas City, Missouri: Library of Congress Catalog Card Number, 61 p.

12. Каган Е. С. Применение метода анализа иерархий и теории нечетких множеств для оценки сложных социально-экономических явлений. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-analiza-ierarhiy-i-teorii-nechetkih-mnozhestv-dlya-otsenki-slozhnyh-sotsialno-ekonomicheskikh-yavleniy>

13. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб., 2003. 78 с.

14. Тиндова М. Г. Разработка инструментальных средств для поддержки принятия решений в области оценки недвижимости на основе интеллектуальных средств обработки информации : автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. Волгоград, 2008. 24 с.

* * *

УВАЖАЕМЫЕ ГОСПОДА!

В номере 6 журнала допущены ошибки. На с. 7 в названии статьи «КОМПЕТЕНЦИЯ ТРЕТЕЙСКИХ СУДОВ (АРБИТРАЖЕЙ) ПРИ **РАССМОТРЕНИИ** СПОРОВ О ПРАВАХ НА НЕДВИЖИМОЕ ИМУЩЕСТВО – КОЛЛИЗИИ В ЗАКОНЕ И ПРАКТИКЕ» следует читать «КОМПЕТЕНЦИЯ ТРЕТЕЙСКИХ СУДОВ (АРБИТРАЖЕЙ) ПРИ **РАССМОТРЕНИИ** СПОРОВ О ПРАВАХ НА НЕДВИЖИМОЕ ИМУЩЕСТВО – КОЛЛИЗИИ В ЗАКОНЕ И ПРАКТИКЕ», на с. 80 в названии статьи вместо «Компетенция третейских судов (арбитражей) **при рассмотрении** споров о правах на недвижимое имущество – коллизии в законе и практике» следует читать «Компетенция третейских судов (арбитражей) **при рассмотрении** споров о правах на недвижимое имущество – коллизии в законе и практике».

Приносим извинения за технический сбой.