

МЕТОД ПОЛИГОНАЛЬНОЙ МЕТРИЧЕСКОЙ СЕТКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

И.И. Рагузин¹, Е.Н. Быкова², О.Ю. Лепихина³

^{1–3} Санкт-Петербургский горный университет, строительный факультет,
кафедра землеустройства и кадастров

¹ Аспирант; e-mail: s215024@stud.spmi.ru

² Доц., д-р экон. наук; e-mail: Bykova_EN@pers.spmi.ru

³ Доц., канд. техн. наук; e-mail: Lepikhina_OYu@pers.spmi.ru

Большие затраты вычислительной мощности, сложность механизмов пересчета коэффициентов ценообразующих факторов негативно сказываются на процессе расчета кадастровой стоимости. Для решения этих проблем в исследовании выполнено обоснование применения метода полигональной метрической сетки для определения значений ценообразующих факторов кадастровой стоимости земельных участков на примере Санкт-Петербурга. При локальном моделировании алгоритм с реализацией метода полигональной метрической сетки показал уменьшение количества операций на 99,999% по сравнению с подходом расчета государственной кадастровой оценки в Санкт-Петербурге на 2018 г. Расчеты показали, что для хранения полигональной метрической сетки требуется на 16 Гб меньше, чем для хранения всей вспомогательной информации (атрибуты и пространственное отражение зоны влияния каждого фактора), требуемой для моделирования. Таким образом, технологический эффект от внедрения метода полигональной метрической сетки в процесс кадастровой оценки недвижимости позволяет рационально расходовать вычислительные мощности, а также снизить затраты времени на перерасчет значений ценообразующих факторов в случае появления новых объектов оценки.

Ключевые слова: ГИС, кадастровая оценка, анализ окружения, программирование, сложность алгоритмов, ценообразующие факторы

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.8

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все чаще происходит обсуждение проблем кадастровой оценки на государственном уровне, поскольку кадастровая стоимость является инструментом, который позволяет реализовать устойчивое и эффективное развитие территории. Такой интерес государства дает толчок к тенденции повышения количества исследований, посвященных общим вопросам кадастровой оценки. Важность роли кадастровой стоимости в совершенствовании механизма экономической реализации земельной собственности показала Н.И. Кресникова [Кресникова, 2009], о несовершенстве качества исходной информации, являющейся основой оценки налогооблагаемой недвижимости, пишет С.И. Носов [Носов, Бондарев, 2013]. А.М. Лелюхина предлагает совершенствование методов оценочного зонирования городских территорий по факторам градостроительной ценности для массовой, в том числе кадастровой, оценки городских земель [Лелюхина, 2008].

Ведутся исследования, нацеленные на определенный вид объекта недвижимости. А.Э. Сагайдак, А.А. Сагайдак разработали и внедрили инноваци-

онную методику оценки сельскохозяйственных земель, основанную на принципах рыночной экономики [Сагайдак, Сагайдак, 2020]. В.Ф. Ковязин с соавторами предлагают проводить кадастровую оценку лесных земель с учетом степени развития их инфраструктуры, а также рассматривают вопросы историко-культурной оценки урбанизированных территории в целях кадастровой оценки [Kovyazin et al., 2021].

Среди исследований, посвященных непосредственным методам определения кадастровой стоимости, следует выделить работы Р.Б. Абидойе, А.П. Чан, которые рассмотрели использование искусственных нейронных сетей в целях оценки недвижимости [Abidoye, Chan, 2012]. С.М. Фонтуре с соавторами применили метод географическо-взвешенной регрессии при массовой оценке квартир [Fontoura et al., 2020]. Е.А. Антипов, Е.Б. Покрышевская представили сегментационный подход к массовой оценке, используя метод случайного леса [Antipov, Pokryshevskaya, 2012].

Следует отметить ряд работ, описанные исследования в которых могут служить основой подготовки исходной информации для присвоения значений

ценообразующим факторам кадастровой стоимости земель. Так, Т. Балтыжакова и А. Романчиков смоделировали пространственную активность пассажиропотока метрополитена, которая позволяет принимать более обоснованные решения при устойчивом развитии населенных пунктов [Baltyzhakova, Romanchikov, 2021]. С. Гнат привел анализ влияния кодирования качественных переменных на статистические параметры модели, характеризующих значение стоимости недвижимости [Gnat, 2021].

Важность рыночных данных при кадастровой оценке подчеркивается А.М. Рыбкиной, П.М. Демидовой, В.А. Киселевым, Е.В. Семеошниковой [Киселев, Семеошникова, 2004], которые в своих работах применяли методы пространственной интерполяции исходных данных, позволяющие проводить оценку в районах с недостаточным объемом информации о сделках [Rybkina et al., 2016]. Я. Волковой предложен метод территориально-временной экстраполяции рыночных данных для кадастровой оценки в условиях малоразвитого рынка земель [Волкова, 2018].

Количество исследований, посвященных внедрению новых ценообразующих факторов в эконометрические модели массовой оценки, растет с каждым годом. Практика показывает, что исследователи зачастую сепарируют факторы. Например, Т. Новикова, В. Хаустов, Т. Гусейнов выделили комплексный экологический фактор для кадастровой оценки земель [Novikova et al., 2018], тогда как О.А. Макаров с соавторами в своем исследовании [Makarov et al., 2016] выделяют отдельно фактор загрязнения радионуклидами. Также следует отметить проводимые исследования на внедрение новых факторов, которые не дают статистически удовлетворительного результата. Среди зарубежных работ выделяется работа М. Руджеро с соавторами на внедрение учета энергоэффективности зданий, которая не оказывает значимого влияния на стоимость объектов недвижимости [Ruggiero et al., 2017]. Такая ситуация приводит к удорожанию стоимости работ по кадастровой оценке, поскольку увеличивает необходимость сбора массивов данных для этого. Кадастровая оценка практически сводится к рыночной оценке, но кадастровая (налогооблагаемая, нормативная и по иному называемая в других странах) во многих странах мира является налогооблагаемой базой, и власти стараются сдерживать такой процесс. Например, в Польше налогообложение от кадастровой стоимости до сих пор не введено ввиду возможных социальных волнений; в Германии используют нормативную стоимость, методики определения которой различаются в разных федеральных землях в связи с различной активностью рынка (чаще всего решение о стоимости принимают экс-

пертные советы). В России же все начиналось с нормативной стоимости, которая не должна была превышать 75% уровня рыночной цены на типичные земельные участки соответствующего целевого назначения, а определяли ее районные (городские) комитеты по земельным ресурсам и землеустройству, исходя из потенциального дохода за расчетный срок окупаемости. Позже рыночные оценщики стали использовать статистические методы на базе сравнительного подхода, теперь же могут использоваться все подходы к оценке, а выполнение оценочных работ возложено на созданные отдельные структуры, государственные бюджетные учреждения (ГБУ), на поддержание работы которых тратятся огромные средства.

В связи с вышесказанным в настоящее время актуальными становятся исследования, направленные на сокращение временных и финансовых затрат на проведение самой оценки с возможностью сохранения качества результатов кадастровой оценки. Д. Деметриу показал эффективность использования искусственных нейронных сетей для консолидации земель в целях массовой оценки недвижимости Кипра, что позволило сократить трудозатраты на 80% [Demetriou, 2017].

Самым затратным этапом кадастровой оценки является сбор и подготовка исходной информации, в том числе пространственной, по ценообразующим факторам. Поэтому целью исследования является разработка и обоснование применения метода полигональной метрической сетки при определении значений ценообразующих факторов кадастровой стоимости для более эффективного расходования государственных средств.

Для достижения цели в работе решены следующие задачи:

- проанализировано актуальное методологическое обеспечение государственной кадастровой оценки недвижимости;
- разработан алгоритм метода полигональной метрической сетки для присвоения значений ценообразующих факторов объектам оценки;
- осуществлена оценка эффективности предлагаемого решения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ существующей методологии кадастровой оценки. ГБУ «Городское управление кадастровой оценки» Санкт-Петербурга, уполномоченное в определении кадастровой стоимости, использует сложные комплексные факторы. Например, фактор «уровень обеспеченности территории» включает в себя несколько видов инфраструктур: водоснабжение, канализацию, электроснабжение, теплоснабжение и газоснабжение. Для установ-

ления наличия какого-либо вида сопутствующего оснащения производится сопоставление буферной зоны от границ земельного участка с объектами инженерной инфраструктуры. При наличии пересечения участку присваивается признак наличия рассматриваемого объекта [Отчет об определении..., 2021].

ГБУ «Городской центр имущественных платежей и жилищного страхования» Москвы в своей методологии использует фактор «коэффициент ценности территории», который отражает экономическую ценность рассматриваемой пространственной единицы (т. е. ценовой зоны). Основной характеристикой фактора является расстояние до метро [Отчет об итогах..., 2021].

Анализ подходов бюджетных учреждений к присвоению значений ценообразующим факторам помог выделить проблему: для трансформации вспомогательных данных в числовые метки с дальнейшим их переносом на каждый объект оценки требуются большие затраты вычислительной мощности. Также велика сложность механизмов перерасчета коэффициентов ценообразующих факторов в условиях динамической природы окружающей среды.

Следует отметить, что Приказ Министерства экономического развития РФ от 12.05.2017 № 226 «Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке» был отменен, а на смену ему разработан Приказ Росреестра от 04.08.2021 № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке», регламентирующий правила установления кадастровой стоимости объектов недвижимости на новом ее этапе.

Новый документ по большей части носит не рекомендательный, а императивный характер при применении того или иного подхода к оценке недвижимости. Так, например, предусмотрен обязательный перечень ценообразующих факторов, который должен быть учтен при расчете кадастровой стоимости зданий, помещений, сооружений, ОНС, машино-мест. В документе расширили пояснения к вводимым корректировкам, предложив оценщику несколько укрупненных вариантов. Одно из изменений – требование к периодичности сбора и обработке информации, которая теперь осуществляется на постоянной основе.

Также был обновлен ссылочный документ, описывающий новый классификатор видов разрешенного использования. При изменении характеристик объекта недвижимости (а конкретно, только площади) его кадастровая стоимость будет изменяться пропорционально изменению его площади. Помимо этого, из нового документа исключена глава «Проведение внеочередной государственной кадастровой оценки».

На этапе сбора рыночной информации бюджетное учреждение собирает данные о ситуации – внешней среде оцениваемых объектов, которая оказывает существенное влияние на определение стоимости. Сюда относится анализ социально-экономических характеристик территории проведения оценки недвижимости. Также собирается информация о различных особенностях рынка недвижимости, о его фактическом состоянии, исследуется общий объем предложений, изменение цен и прочие характеристики. На основе проведенного анализа информации о макроэкономической среде объектов оценки определяются ценообразующие факторы, характеризующие эту среду.

Ценообразующие факторы представляют данные о физических, технических, эксплуатационных и прочих характеристиках объекта оценки. Все ценообразующие факторы делятся на три типа:

- 1) характеризующие макроэкономическую среду объектов оценки;
- 2) характеризующие непосредственное окружение и сегмент рынка объектов оценки;
- 3) характеризующие объект оценки [Приказ..., 2021].

Анализ законодательства и статистика выявили одну из главных проблем государственной кадастровой оценки – расхождение данных, характеризующих рыночную среду на дату оценки относительно расчетной кадастровой стоимости. Это может быть обусловлено некачественными данными, поступающими из государственных источников. Ошибка в исходной информации ведет к некорректному определению значений ценообразующих факторов, что негативно сказывается на величине кадастровой стоимости.

Важно получить максимально корректную стоимость на этапе ее определения, так как существующий ныне механизм обжалования сопровождается существенными рисками возможного злоупотребления правом со стороны государства, которые имеются практически на каждом этапе обжалования оценки, т. е. в целом складывается риск несоблюдения принципа соразмерности налогообложения [Грибовский и др., 2002].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод полигональной метрической сетки.

Для технического обоснования расчета значений ценообразующих факторов с применением полигональной метрической сетки необходимо разработать алгоритм, в котором для любого вида ценообразующего фактора выполнялась бы типовая последовательность действий, представленная на рисунке (рис. 1).

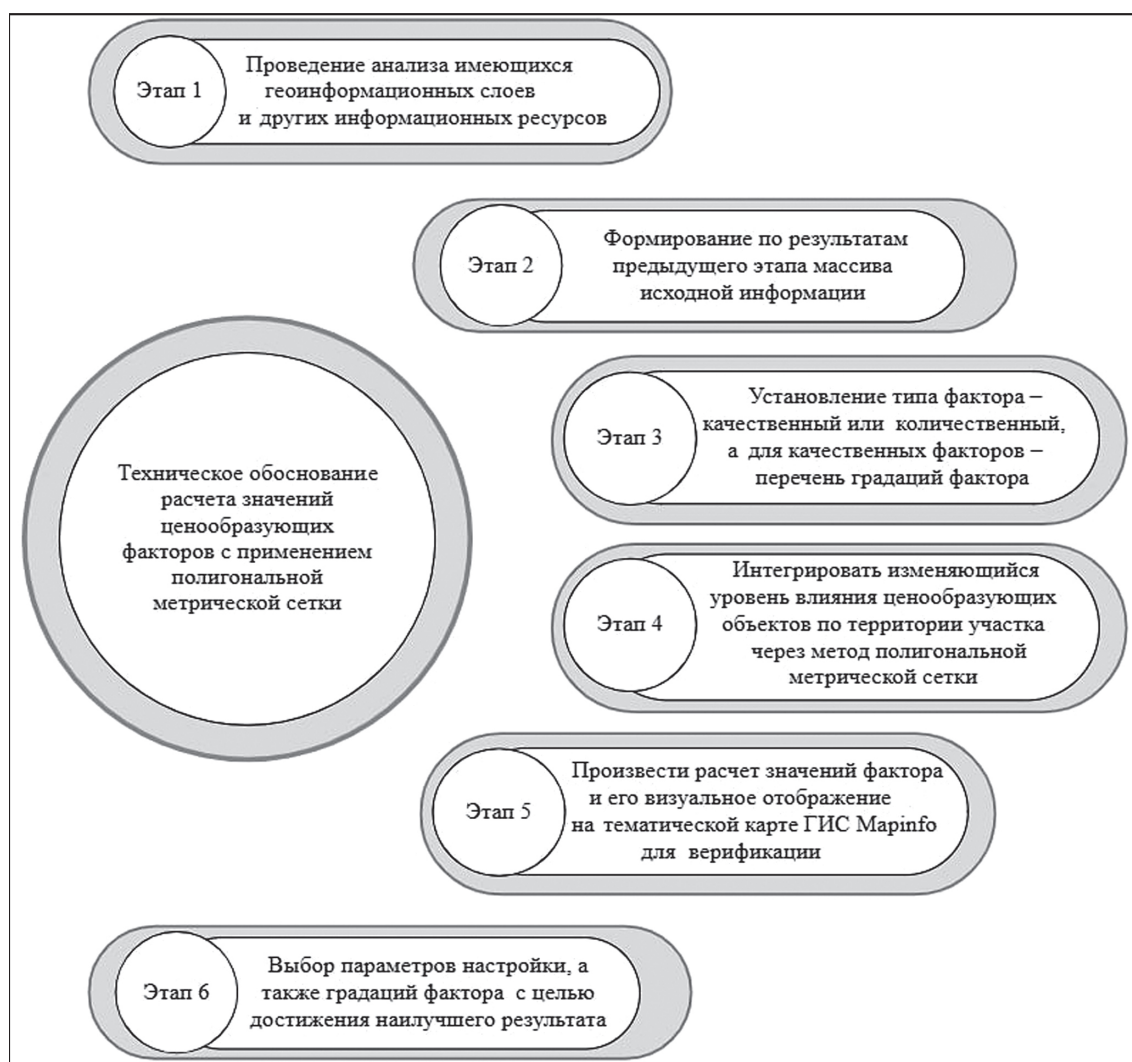


Рис. 1. Типовая последовательность действий

Fig. 1. Typical procedure of work

В данной работе были использованы ценообразующие факторы, перечень которых соответствует факторам, использованным ГБУ «Городское управление кадастровой оценки» Санкт-Петербурга в модели определения кадастровой стоимости земельных участков для оценочной группы «Производственные объекты» [Отчет об определении..., 2021]. Если сравнивать Санкт-Петербург с остальными субъектами РФ, то можно отметить вариативность ценообразующих факторов. Например, в Москве для той же оценочной группы используются пять факторов (три из которых характеризуют местоположение), тогда как в Санкт-Петербурге это количество составляет восемь.

При расчете значений ценообразующих факторов для земельных участков необходимо брать во внимание, что при значительных размерах участка уровень влияния объектов, генерирующих то или иное ценообразующее качество, может существенно изменяться в пределах участка. То есть нужно

интегрировать этот изменяющийся уровень влияния ценообразующих объектов по территории участка. Для реализации такого подхода вся территория Санкт-Петербурга «покрывалась» регулярной сеткой с шагом 20 м, который обусловлен необходимостью обеспечения точности переноса значения ценообразующего фактора на объект оценки.

Распределение оцениваемых земельных участков по площади представлено на рисунке 2. Минимальная площадь земельного участка в совокупности земель производственной деятельности для Санкт-Петербурга составила 407,31 м². Поскольку конфигурация земельного участка стремится к идеальной форме (квадрат) [Latruffe, Piet, 2014], можно принять за размер стороны величину 20 м. Сеточное покрытие представлено на рисунке 3.

Каждая ячейка сетки рассматривалась как условный участок. Для центральной точки ячейки вычислялось значение фактора, порождаемое ценообразующими объектами. Это значение принималось как

средняя величина значения фактора для территории ячейки (считалось, что при достаточно малых размерах ячейки можно пренебречь отклонением значения фактора от его средней величины в пределах территории ячейки).

При вычислении значения фактора для произвольного участка его территория нарезалась ячейками сетки на фрагменты и вычислялось средневзвешенное по площадям фрагментов «интегральное»

значение. В соответствии с этим подходом вычисление значений фактора для объектов оценки (объектов-аналогов) производилось в два этапа: на первом этапе вычислялись значения фактора для ячеек регулярной геометрической сетки, покрывающей всю территорию Санкт-Петербурга, на втором этапе полученное покрытие полигональной метрической сеткой служило основой вычисления значения фактора для любого заданного набора участков или объектов.

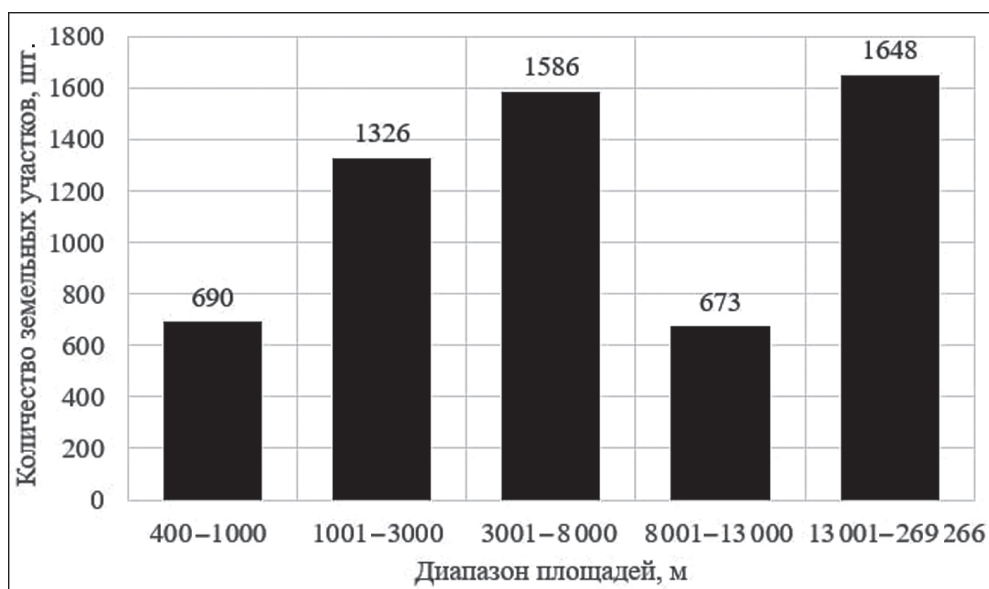


Рис. 2. Распределение земельных участков по площади

Fig. 2. Distribution of land plots by area

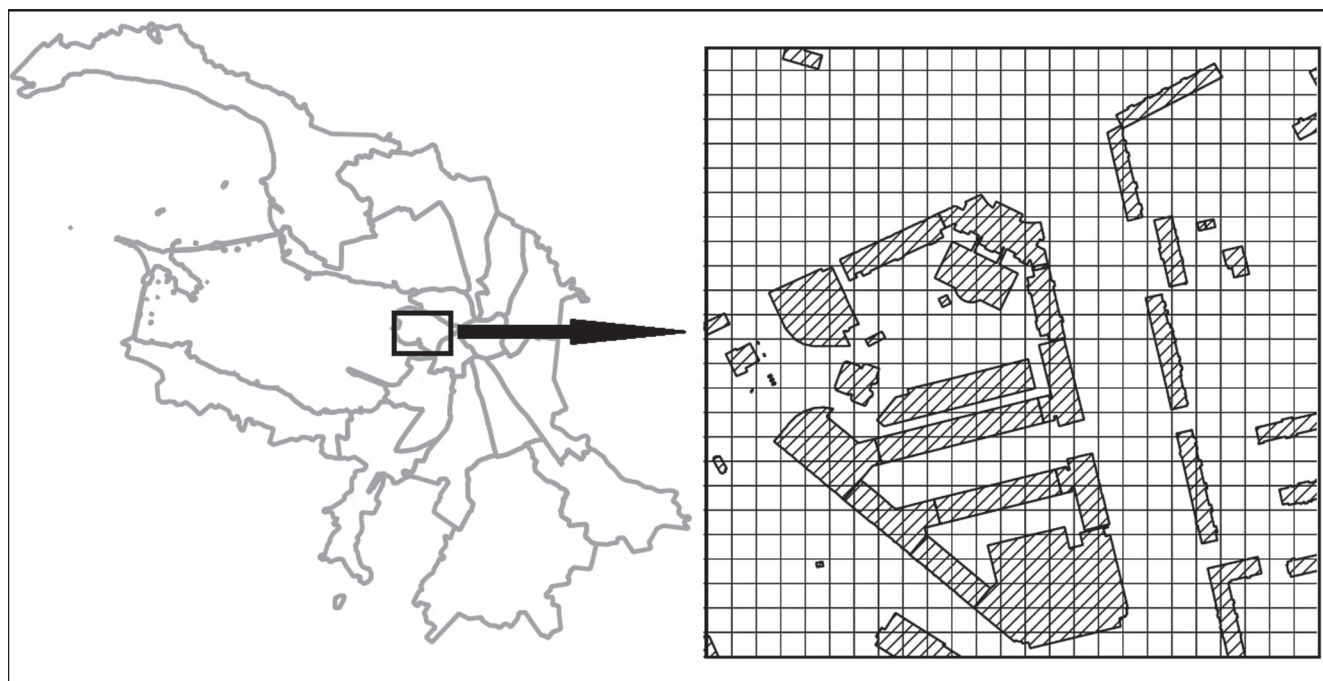


Рис. 3. Ячейки сетки 20 × 20 м на территории Санкт-Петербурга

Fig. 3. Grid cells 20 × 20 meters within the territory of St. Petersburg

Расширенная схема вычисления значения фактора для ячейки полигональной метрической сетки представлена на рисунке 4.

Чтобы избежать привязки к определенному языку программирования, этапы расчета необходимо представить в виде общего алгоритма. Для языков программирования характерны общие структуры данных (например, типы переменных, различные массивы), что позволяет выстроить унифицированный алгоритм. В связи с этим для реализации расчета значений ценообразующих факторов методом полигональной метрической сетки необходимо следующее:

1) для хранения значений фактора в ячейках геометрической сетки организовать массив val из переменных типа $float$ (4 байта) по размеру выбранной сетки;

2) произвести нарезку регулярной геометрической сеткой (20×20 м) построенных буферных зон объектов-источников и самих источников. Таким

образом, появляются два множества ячеек сетки – попавшие в объект-источник и попавшие в его буферную зону;

3) на первом этапе произвести перенос значения фактора, указанного для объекта-источника, на его фрагменты (т. е. формируется «сеточный» образ объекта-источника). Перенос может быть разным в зависимости от содержательного смысла фактора: когда значение фактора у источника распределяется по его площади (или длине) и, соответственно, распределяется по ячейкам (например, для факторов, описывающих удобство парковки автомобильного транспорта, количество парковочных мест, указанное для источника, распределяется по отдельным фрагментам источника пропорционально их площади), а также перенос, когда все ячейки наследуют значение источника (например, ранг, характеризующий водный объект, и т. п.);

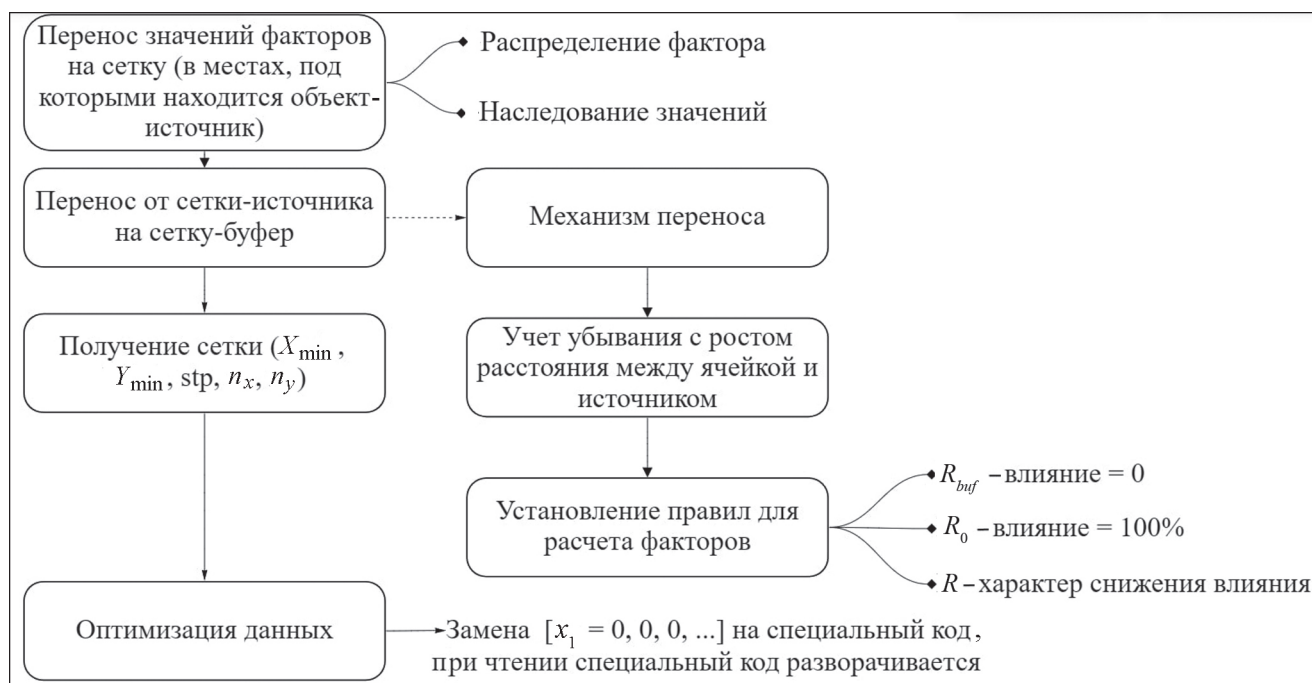


Рис. 4. Схема вычисления значений факторов. (Форма города не равна прямоугольнику.)

Fig. 4. Scheme for calculating factor values. (The shape of the city is not equal to a rectangle.)

4) осуществить распространение влияния от ячеек сеточного образа источника на ячейки геометрической сетки, попавшие в его буферную зону, в соответствии с параметрами источника. При этом используется механизм переноса, учитывающий, что влияние объекта-источника (вероятность использования его возможностей) на территории ячейки убывает с ростом расстояния r между ячейкой и источником. То есть, если ячейка попала в буферную зону объекта-источника, вычисляется расстояние r от нее до источника, породившего эту зону и далее по уста-

новленному для фактора правилу производится вычисление значения фактора, пришедшего в ячейку от источника. Например, для источника может быть установлено, что на расстоянии менее 200 м это влияние равно 1 (100%), затем оно убывает по нормальному закону, например оно равно

$$\exp\left(-\left(\frac{r-200}{250}\right)^2\right),$$

и на краях зоны становится достаточно малым. Для учета влияния источника на значение фактора в

ячейке в слоях, характеризующих источники, задаются параметры, описывающие это влияние:

- R_{buf} – радиус буфера (в метрах), характеризующего зону, на границе которой влияние источника становится достаточно малым;
- R_0 – расстояние, на котором влияние источника 100%;
- R – параметр, определяющий характер снижения влияния с ростом расстояния от объекта-источника;

5) результат расчета оформить в набор параметров, описывающих геометрическую сетку, и массив вычисленных для каждой ячейки сетки значений фактора (val), которые обеспечивают хранение построенного сеточного фактора и получение значения фактора для произвольного земельного участка, лежащего в габаритном прямоугольнике;

6) в связи с тем что площадь городской территории составляет менее трети площади габаритного прямоугольника, значительное количество ячеек лежит вне границ города и, соответственно, более

двух третей элементов в массиве val равны нулю. Кроме того, ячейкам, которые не попали ни в одну из буферных зон источников, также соответствуют нулевые значения. Поэтому для реализации расчета значений факторов методом полигональной метрической сетки необходимо произвести «упаковку» массива val. Вместо цепочек идущих подряд нулевых элементов, в файл записываются два 4-байтных слова – спецкод из всех единиц и количество нулевых элементов в цепочке. В результате размер записываемого файла в 5–6 раз меньше объема массива val. В дальнейшем при чтении файла производится вставка цепочек нулевых элементов на свои места;

7) вычисление значения фактора для объектов оценки выполнить по следующему алгоритму: для получения среднеинтегральных значений по произвольной области перебираются все ячейки, имеющие непустое пересечение с областью, вычисляются площади фрагментов пересечения ячеек с областью, значения в ячейках взвешиваются пропорционально площадям пересечений;

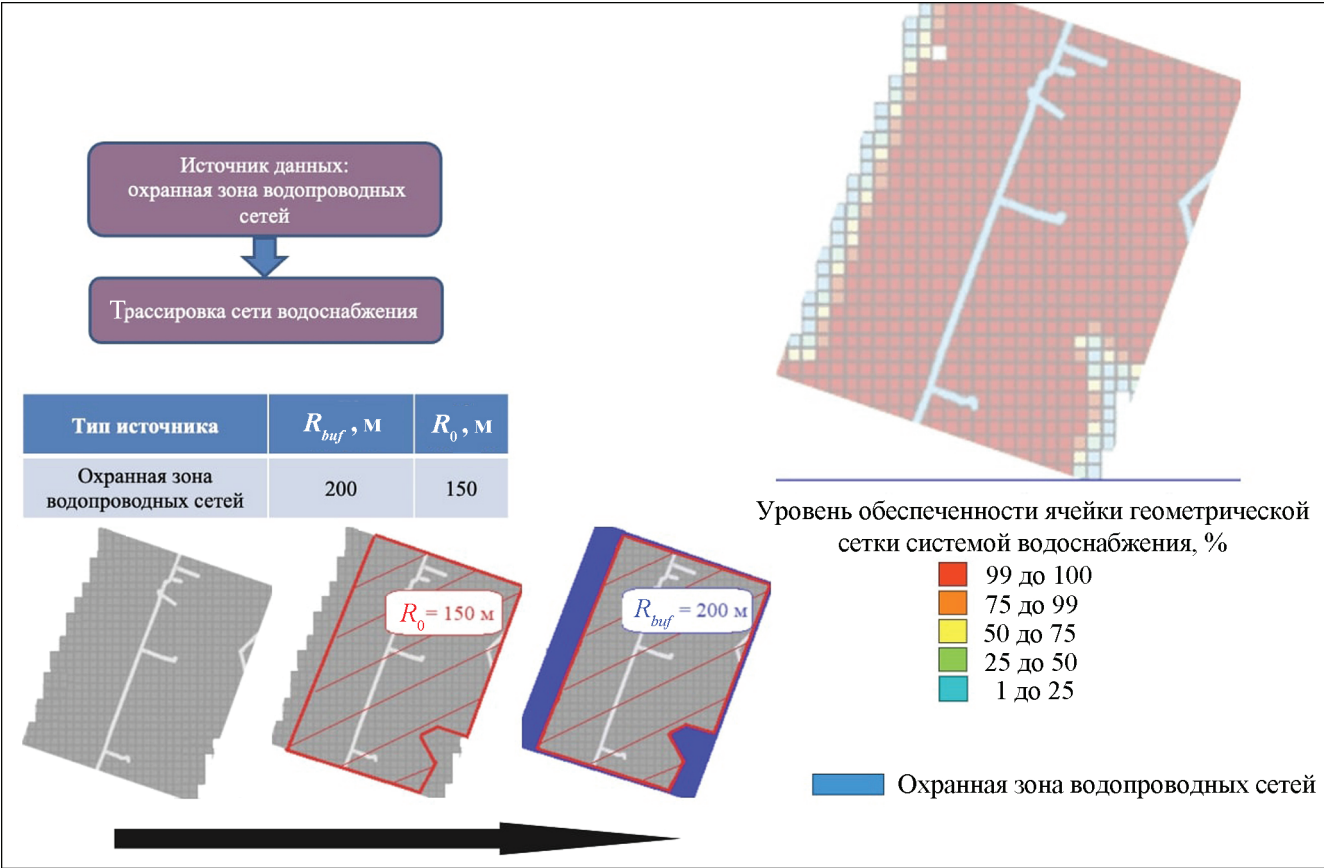


Рис. 5. Графический пример присвоения значений фактору «уровень обеспеченности системой водоснабжения»

Fig. 5. Graphical example of assigning values to the factor “Level of availability of water supply system”

8) так как у факторов сетки геометрия сетки одна и та же, работа по перебору ячеек, построению фрагментов пересечения с заданной областью и вычислению их площадей будет одинаковой для всех факторов. Таким образом, оказывается рациональным не повторять ее для каждого фактора,

а вести одновременное параллельное вычисление всех сеточных факторов (для этого нужно, чтобы их сеточные массивы были одновременно загружены в оперативную память). Большая часть объема памяти будет занята нулевыми элементами, которые в расчете участия не принимают. Для реализации расчета значений факторов методом полигональной метрической сетки необходимо использовать построчное хранение сеточных массивов val в оперативной памяти. Объем требуемой оперативной памяти при построчном хранении уменьшается более чем в три раза.

Общая схема реализации процедуры расчета факторов стоимости будет работать во всем многообразии факторов, которое описывается качественно или количественно. Исключения могут составить сложные составные факторы, которые подразумевают комплексное влияние отдельных объектов, принадлежащих единой системе (например, группа экологических факторов, инженерная инфраструктура территории и т. п.). Для таких случаев можно воспользоваться общей схемой, применяя этапы к отдельным объектам. После чего произвести расчет основной группы факторов, используя уже подготовленную информацию.

На рисунке 5 представлен графический пример для присвоения значений фактору «уровень обеспеченности системой водоснабжения» ячейкам геометрической сетки при параметрах $R_{buf} = 200$ м, $R_0 = 150$ м.

Эффективность внедрения метода. Алгоритм – это точное предписание, однозначно опре-

деляющее вычислительный процесс, ведущий от варьируемых начальных данных к искомому результату [Васильев, 2022].

В качестве критериев оценки выступают вычислительная сложность, включающая затраченное время на выполнения процесса (оценка трудоемкости), а также затраты памяти на выполнение алгоритма. Анализ показателей предоставляет возможность сопоставления эффективности разработанных алгоритмов.

Подсчет количества операций позволяет сравнить эффективность алгоритмов. Однако аналогичный результат можно получить более простым путем. Анализ проводят с расчетом на достаточно большой объем обрабатываемых данных ($n \rightarrow \infty$), поэтому ключевое значение имеет скорость роста функции сложности, а не точное количество операций.

При анализе скорости роста игнорируются постоянные члены и множители в выражении, т. е. функции эквивалентны с точки зрения скорости роста. Незначительные члены лишь добавляют «волнистости», которая затрудняет анализ.

В оценке алгоритмов используются специальные асимптотические обозначения, задающие класс функций $O(g)$, растущие медленнее чем g , где g – функция, описывающая реальное число выполняемых операций.

В таблице представлены основные типы алгоритмов. Помимо описанной функции, также дано время, необходимое вычислительной машине для решения определенной задачи [Васильев, 2022].

Таблица

Основные типы алгоритмов с учетом размера входных данных и при скорости работы вычислительной машины 10^6 операций в 1 секунду

Тип	Сложность	Размер входных данных					
		10	20	30	40	50	60
Постоянные	$O(1)$	–	–	–	–	–	–
Линейные	$O(n)$	10^{-5} с	$2 \cdot 10^{-5}$ с	$3 \cdot 10^{-5}$ с	$4 \cdot 10^{-5}$ с	$5 \cdot 10^{-5}$ с	$6 \cdot 10^{-5}$ с
Квадратичные	$O(n^2)$	10^{-4} с	$4 \cdot 10^{-4}$ с	$9 \cdot 10^{-4}$ с	$16 \cdot 10^{-4}$ с	$25 \cdot 10^{-4}$ с	$36 \cdot 10^{-4}$ с
Кубические	$O(n^3)$	10^{-3} с	$8 \cdot 10^{-3}$ с	$27 \cdot 10^{-3}$ с	$64 \cdot 10^{-3}$ с	$125 \cdot 10^{-3}$ с	$22 \cdot 10^{-2}$ с
Экспоненциальные	$O(2^n)$	10^{-4} с	1 с	17,9 мин	12,7 дня	35,7 века	366 веков

В случае использования подхода, применяемого в моделировании 2018, подготовка исходной информации по ценообразующим факторам производится итерационно, при этом для достижения результата будет применяться одна операция на один объект. Тем самым сложность подготовки исходной информации будет измеряться в $O(n)$.

Алгоритм по перерасчету кадастровой стоимости предполагает геометрическое построение от

каждого объекта оценки, тип которого определяется в зависимости от необходимого ценообразующего фактора, тем самым многократно повышая потенциальное число итерации. Визуальный пример представлен на рисунке 8. При анализе влияния буферных зон, построенных от объектов-источников ценообразующих факторов, необходимо определить ближайшую. Потенциальная сложность алгоритма в данном случае выражается в $O(2^n)$.

При использовании метода полигональной метрической сетки для присвоения значений ценообразующих факторов возможна структура данных в виде хеш-функции, где каждому объекту оценки присваивается своя ячейка факторов. После получения данных по ячейке значение ценообразующего фактора распределяется по всему земельному участку (операция 2 на рис. 9). Таким образом, сложность подготовки информации для моделирования выражается в $O(n)$.

Если условно принять, что на программный модуль расчета ценообразующих факторов подается 20 входных параметров, то эффект в случае с реализацией метода полигональной метрической сетки (время работы – $2 \cdot 10^{-5}$ с) по сравнению с подходом расчета государственной кадастровой оценки в 2018 г. (время работы – 1 с) составит 49 999%.

Для хранения полигональной метрической сетки требуется на 16 Гб меньше места, чем для хранения всей вспомогательной информации (атрибуты и пространственное отражение зоны влияния каждого фактора), требуемой для моделирования.

ВЫВОДЫ

Научное сообщество сходит в необходимости пересмотра подходов и порядка осуществления государственной кадастровой оценки земель. Одним из направлений является сокращение временных и финансовых затрат на проведение кадастровой оценки, поэтому улучшение процесса расчета кадастровой стоимости с помощью применения метода полигональной метрической сетки для присвоения значений факторов является практически значимым актуальным исследованием.

Тестирование метода происходило на выборке из 5923 земельных участков, предназначенных для производственной деятельности. При моделировании алгоритм с реализацией метода полигональной метрической сетки показал уменьшение количества операций на 49 999% по сравнению с подходом расчета государственной кадастровой оценки в Санкт-Петербурге на 2018 г. Кроме того, отмечена эффективность использования цифрового пространства. Расчеты показали, что для хранения полигональной метрической сетки требуется на 16 Гб меньше места, чем для хранения всей требуемой для моделирования вспомогательной информации (атрибуты и пространственное отражение зоны влияния каждого фактора). Как следствие, предложенная методология обладает технологическим эффектом, позволяя снизить экономические затраты на обеспечение процесса подготовки исходных данных для расчета кадастровой стоимости при массовой оценке.

Одной из проблем предложенного подхода является использование субъективных характеристик, описывающих характер снижения влияния с ростом расстояния от объекта-источника в процессе переноса значений ценообразующих факторов. Далеко не каждое такое значение имеет обоснование (например, в виде размеров влияния техногенных объектов в нормативных документах), что подталкивает оценщика определять их экспертным подходом. Кроме того, слабым местом является выбор размера шага геометрической сетки, который завязан на конкретной совокупности оцениваемых земельных участков. В качестве перспективного решения проблемы предлагается использовать существующее деление земной поверхности на геометрические фигуры, имеющее достаточный шаг, чтобы обеспечить точность переноса.

Эффективность разработанного алгоритма заключается в подготовке массива значений ценообразующих факторов, не зависящего от характеристик объектов оценки, что избавляет от необходимости в реализации сложных механизмов перерасчета. Таким образом, технологический эффект от внедрения метода полигональной метрической сетки в процесс кадастровой оценки недвижимости позволяет рационально расходовать вычислительные мощности, а также снизить затраты времени на перерасчет значений ценообразующих факторов в случае появления новых объектов оценки.

В результате проведенного исследования:

- разработана общая схема реализации процедуры расчета факторов стоимости, включая описание методологической интеграции использования полигональной метрической сетки для присвоения значений факторов;

- созданы правила построения регулярной геометрической сетки, дано описание исходной информации, необходимой для реализации пространственных операций;

- разработан алгоритм вычисления значений ценообразующих факторов, в составе которого представлена техническая реализация, включающая в себя вопросы по использованию программной составляющей, а также методы оптимизации данных. Алгоритмы расчета реализованы на языке программирования Python 3.7, который, по сравнению с остальными, обладает высокой скоростью разработки, разнообразием библиотек для научных вычислений, а также широким распространением среди исследователей. Однако для ГБУ рекомендуется создание программного продукта на более низкоразрядных языках (например, C++), обладающих более высокой скоростью вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Грибовский С.В., Баринов Н.П., Анисимова И.Н. О повышении достоверности оценки рыночной стоимости методом сравнительного анализа // Вопросы оценки. 2002. № 1. С. 2–10.
- Волкова Я. Метод территориально-временной экстраполяции рыночных данных для кадастровой оценки в условиях малоразвитого рынка земель: на примере земель индивидуальной жилой застройки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2018. 20 с.
- Киселев В.А., Семеошкова Е.В. Использование ГИС-технологий для зонирования территории Фрунзенского района Санкт-Петербурга // Записки Горного института. 2004. Т. 156. С. 255–258.
- Кресникова Н.И. Формирование системы земельных отношений в аграрном секторе экономики: теория, методология и практика: автореф. дис. ... докт. экон. наук. М., 2009. 58 с.
- Лелюхина А.М. Разработка и исследование методов создания тематических кадастровых карт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 24 с.
- Носов С.И., Бондарев Б.Е. Кадастровая оценка земельных участков: методология расчетов и экспертиза результатов // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2013. № 7(142). С. 6–17.
- Приказ Росреестра от 04.08.2021 № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке». М., 2021.
- Сагайдак А.Э., Сагайдак А.А. Земельная рента и совершенствование налогообложения земли в сельском хозяйстве // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 114–117.
- Abidoye R.B., Chan A.P. Artificial neural network in property valuation: application framework and research trend, *Property Management*, 2017, vol. 35(5), p. 554–571.
- Antipov E.A., Pokryshevskaya E.B. Mass appraisal of residential apartments: An application of Random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 9, no. 2, p. 1772–1778.
- Baltyzhakova T., Romanchikov A. Spatial analysis of subway passenger traffic in Saint Petersburg, *Geodesy and Cartography (Vilnius)*, 2021, vol. 47(1), p. 10–20.
- Demetriou D. A spatially based artificial neural network mass valuation model for land consolidation, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2017, no. 5(44), p. 864–883.
- Fontoura Júnior C.M., Uberti M.S., Tachibana V.M. Mass appraisal of apartment through geographically weighted regression, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 2020, vol. 26(2), p. 1–16.
- Gnat S. Impact of categorical variables encoding on property mass valuation, *Procedia Computer Science*, 2021, vol. 192, p. 3542–3550.
- Kovyazin V.F., Kitsenko A.A., Shobairi O.R. Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure, *Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 249(5), p. 449–462.
- Latruffe L., Piet L. Does land fragmentation affect farm performance? A case study from Brittany, France, *Agricultural Systems*, 2014, vol. 129, p. 68–80.
- Makarov O.A., Tsvetnov E.V., Shcheglov A.I., Romashkina A.D., Ermiyaev Y.R. Cadastral valuation of lands polluted with radionuclides, *Eurasian Soil Science*, 2016, vol. 11(49), p. 1288–1293.
- Novikova T., Khaustov V., Guseinov T. Cadastral valuation based upon the environmental factors using the city of Kursk as an example, *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 1(16), p. 104–106.
- Pirogova O., Gorin E., Plotnikov V. The algorithms for the environmental finance based on adjusted present value models, *E3S*, 2019, vol. 91, 08021, DOI: 10.1051/e3s-conf/20199108021.
- Ruggiero M., Forestiero G., Manganelli B., Salvo F. Buildings energy performance in a market comparison approach, *Buildings*, 2017, no. 7(1), 14 p., DOI: 10.3390/buildings7010016.
- Rybkina A.M., Demidova P.M., Kiselev V.A. Working-out of the geostatistical model of mass cadastral valuation of Urban lands evidence from the city Vsevolozhsk (Russia), *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11(24), p. 11631–11638.
- Электронные источники
- Васильев В.С. Анализ сложности алгоритмов. Примеры. URL: <https://pro-prof.com.turbopages.org/pro-prof.com/s/archives/1660> (дата обращения 25.01.2022).
- Отчет об итогах государственной кадастровой оценки земельных участков (категория земель «земли населенных пунктов»), расположенных на территории города Москвы (по состоянию на 01.01.2018 г.) № 1/2018. URL: https://rosreestr.gov.ru/wps/portal/cc_ib_svedFDGKO?archive_id=23121 (дата обращения 24.11.2021).
- Отчет об определении кадастровой стоимости объектов недвижимости на территории Санкт-Петербурга. Т. 2: Определение кадастровой стоимости земельных участков (по состоянию на 01.01.2018 г.) № 1/2018. URL: https://rosreestr.ru/wps/portal/cc_ib_svedFDGKO?archive_id=23341 (дата обращения 24.11.2021).

Поступила в редакцию 28.03.2022

После доработки 04.10.2022

Принята к публикации 01.12.2022

POLYGONAL METRIC GRID METHOD FOR ESTIMATING THE CADASTRAL VALUE OF LAND PLOTS

I.I. Raguzin¹, E.N. Bykova², O.Yu. Lepikhina³

¹⁻³ St. Petersburg Mining University, Civil Engineering Faculty,
Department of Land Management and Cadastres

¹ Postgraduate student; e-mail: s215024@stud.spmi.ru

² Associate Professor; D.Sc. in Economics; e-mail: Bykova_EN@pers.spmi.ru

³ Associate Professor; Ph.D. in Engineering sciences; e-mail: Lepikhina_OYu@pers.spmi.ru

High computer-intensity and complexity of the mechanisms for recalculating the coefficients of pricing factors affect the process of calculating the cadastral value. To solve these problems, the study substantiates the use of polygonal metric grid method to determine the values of pricing factors of the cadastral value of land plots using St. Petersburg as an example. In local modeling, the algorithm implementing the polygonal metric grid method showed a decrease in the number of operations by 49,999% compared to the approach applied for 2018 state cadastral valuation in St. Petersburg. Calculations showed that the storage of a polygonal metric grid requires 16 GB less than that of all auxiliary information (attributes and spatial reflection of the zone of influence of each factor) required for modeling. Thus, the technological effect of the introduction of a polygonal metric grid method into the process of cadastral valuation of real estate makes it possible to make efficient use of computing power, as well as to reduce the time for recalculating the values of pricing factors if some new objects of valuation emerge.

Keywords: GIS, cadastral valuation, environment analysis, programming, complexity of algorithms, pricing factors

REFERENCES

- Abidoye R.B., Chan A.P. Artificial neural network in property valuation: application framework and research trend, *Property Management*, 2017, vol. 35(5), p. 554–571.
- Antipov E.A., Pokryshevskaya E.B. Mass appraisal of residential apartments: An application of Random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 9, no. 2, p. 1772–1778.
- Baltyzhakova T., Romanchikov A. Spatial analysis of subway passenger traffic in Saint Petersburg, *Geodesy and Cartography* (Vilnius), 2021, vol. 47(1), p. 10–20.
- Demetriou D. A spatially based artificial neural network mass valuation model for land consolidation, *Environment and Planning B, Urban Analytics and City Science*, 2017, no. 5(44), p. 864–883.
- Fontoura Júnior C.M., Uberti M.S., Tachibana V.M. Mass appraisal of apartment through geographically weighted regression, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 2020, vol. 26(2), p. 1–16.
- Gnat S. Impact of categorical variables encoding on property mass valuation, *Procedia Computer Science*, 2021, vol. 192, p. 3542–3550.
- Gribovskii S.V., Barinov N.P., Anisimova I.N. O povyshe-nii dostovernosti otsenki rynochnoi stoimosti metodom sravnitel'nogo analiza [On Improving the Reliability of Estimating Market Value by the Method of Comparative Analysis], *Voprosy otsenki*, 2002, no.1, p. 2–10. (In Russian)
- Kiselev V.A., Semeoshenkova E.V. Ispol'zovanie GIS-tekh-nologii dlya zonirovaniya territorii Frunzenskogo raiona Sankt-Peterburga [Application of GIS technologies for zoning the territory of the Frunzensky district of St. Petersburg], *Zapiski Gornogo instituta*, 2004, vol. 156, p. 255–258. (In Russian)
- Kovyazin V.F., Kitsenko A.A., Shobairi O.R. Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure, *Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 249(5), p. 449–462.
- Kresnikova N.I. *Formirovanie sistemy zemel'nykh ot-noshenii v agrarnom sektore ekonomiki: teoriya, me-todologiya i praktika* [Formation of the system of land relations in the agricultural sector of economy: theory, methodology and practice], Extended Abstract of Grand Ph.D. Thesis in Economics, Moscow, 2009, 58 p. (In Russian)
- Latruffe L., Piet L. Does land fragmentation affect farm performance? A case study from Brittany, France, *Agricultural Systems*, 2014, vol. 129, p. 68–80.
- Lelyukhina A.M. *Razrabotka i issledovanie metodov sozdaniya tematicheskikh kadastrykh kart* [Elaboration and analysis of methods for creating thematic cadastral maps], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Engineering sciences, Moscow, 2008, 24 p. (In Russian)
- Makarov O.A., Tsvetnov E.V., Shcheglov A.I., Romashki-na A.D., Ermiyaev Y.R. Cadastral valuation of lands pol-luted with radionuclides, *Eurasian Soil Science*, 2016, vol. 11(49), p. 1288–1293.
- Nosov S.I., Bondarev B.E. Kadastravaya otsenka zemel'nykh uchastkov: metodologiya raschetov i eksper-tiza rezul'tatov [Cadastral valuation of land plots: calcu-lation methodology and examination of results], *Imush-chestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii*, 2013, no. 7(142), p. 6–17. (In Russian)
- Novikova T., Khaustov V., Guseinov T. Cadastral valuation based upon the environmental factors using the city of Kursk as an example, *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 1(16), p. 104–106.

- Pirogova O., Gorin E., Plotnikov V. The algorithms for the environmental finance based on adjusted present value models, *E3S*, 2019, (91), 111 – p.
- Prikaz Rosreestra ot 04.08.2021 no. II/0336 “Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazanii o gosudarstvennoi kadaastrovoi otsenke” [“On approval of the Guidelines on the state cadastral valuation”], Moscow, 2021. (In Russian)
- Ruggiero M., Forestiero G., Manganelli B., Salvo F. Buildings energy performance in a market comparison approach, *Buildings*, 2017, no. 7(1), 14 p., DOI: 10.3390/buildings7010016.
- Rybkina A.M., Demidova P.M., Kiselev V.A. Working-out of the geostatistical model of mass cadastral valuation of Urban lands evidence from the city Vsevolozhsk (Russia), *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11(24), p. 11631–11638.
- Sagaidak A.E., Sagaidak A.A. Zemel'naya renta i sovershenstvovanie nalogoblozheniya zemli v sel'skom khozyaistve [Land rent and improvement of land taxation in agriculture], *Innovatsii i investitsii*, 2020, no. 7, p. 114–117. (In Russian)
- Volkova Ya. Metod territorial'no-vremennoi ekstrapolyatsii rynochnykh dannykh dlya kadaastrovoi otsenki v usloviyakh malorazvitoogo rynka zemel': na primere zemel' individual'noi zhiloi zastroiki [Method of territorial-temporal extrapolation of market data for cadastral valuation under poorly developed land market: case study of lands of individual residential development], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Engineering sciences, Saint-Petersburg, 2018, 20 p. (In Russian)
- Web sources*
- Otchet ob itogah gosudarstvennoj kadaastrovoj otsenki zemelnykh uchastkov (kategoriya zemel “zemli naselennykh punktov”) raspolozhennykh na territorii goroda Moskvy (po sostoyaniyu na 01.01.2018 g.) [Report on the results of the state cadastral evaluation of land plots (land category “lands of Settlements”) within the territory of the city of Moscow (as on 01.01.2018)], no. 1/2018, URL: https://rosreestr.gov.ru/wps/portal/cc_ib_svedFDGKO?archive_id=23121 (date of access 24.11.2021). (In Russian)
- Otchet ob opredelenii kadaastrovoj stoimosti ob'ektov nedvizhimosti na territorii Sankt-Peterburga, t. 2, Opredelenie kadaastrovoj stoimosti zemelnykh uchastkov (po sostoyaniyu na 01.01.2018 g.) [Report on the cadastral valuation of real estate objects within the territory of St.Petersburg, vol. 2, Cadastral valuation of land plots (as on 01.01.2018)], no. 1/2018, URL: https://rosreestr.ru/wps/portal/cc_ib_svedFDGKO?archive_id=23341 (date of access 24.11.2021). (In Russian)
- Vasiliev V.C. Analiz slozhnosti algoritmov. Primery [Analysis of algorithms' complexity. Examples], URL: <https://pro-prof-com.turbopages.org/pro-prof-com/s/archives/1660> (date of access 25.01.2022). (In Russian)

Received 28.03.2022

Revised 04.10.2022

Accepted 01.12.2022