

Д. С. Мадис¹✉

Применение полуавтономной беспилотной системы при выполнении кадастровых работ

¹Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: madis.danila@gmail.com

Аннотация. В статье приведены результаты исследования по разработке, конструированию и применению полуавтономной беспилотной системы (пАБС) для решения прикладных задач пространственного развития территорий, землеустройства, кадастров и мониторинга земель Российской Федерации. Рассмотрена технология аэрофотосъемки (АФС) застроенных территорий с пАБС при проведении комплексных кадастровых работ (ККР), в сравнении с сертифицированной беспилотной авиационной системой (БАС) «Геоскан Gemini». Первичная верификации данных единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) выполнена в программном обеспечении «QGIS» с использованием нейронных сетей. Обработка и оценка результатов проведена в российской сертифицированной цифровой фотограмметрической системе (ЦФС) «Agisoft Metashape Professional» с использованием полуавтономного алгоритма. Проанализированы проблемы и перспективы внедрения полу- и полностью автономных беспилотных систем (АБС) в процессы оценки и управления территориями, геоинформационного обеспечения инфраструктуры пространственных данных региона.

Ключевые слова: землеустройство, кадастры, мониторинг земель, беспилотные системы, пространственное развитие

D. S. Madis¹✉

The use of a semi-autonomous unmanned system in carrying out cadastral work

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography (МИИГАиК), Moscow, Russian Federation
e-mail: madis.danila@gmail.com

Abstract. The article presents the results of a study on the development, construction and application of a semi-autonomous unmanned system (sAUS) for solving applied problems of spatial development of territories, land management, cadastre and monitoring of lands of the Russian Federation. The technology of aerial photography (AP) of built-up areas with PABs during complex cadastral works (CCW) is considered, in comparison with the certified unmanned aerial system (UAS) «Geoscan Gemini». The primary verification of data from the Unified State Register of Real Estate (USRN) was performed in the «QGIS» software using neural networks. The results were processed and evaluated in the Russian certified digital photogrammetric system (DFS) «Agisoft Metashape Professional» using a semi-autonomous algorithm. The problems and prospects of introducing semi- and fully autonomous unmanned systems (AUSs) into the processes of assessment and management of territories, geoinformation support of the spatial data infrastructure of the region are analyzed.

Keywords: land management, cadastre, land monitoring, unmanned systems, spatial development

Введение

В современном мире беспилотные системы нашли широкое применение в землеустроительных и кадастровых работах, мониторинге земель, оценке и управлении пространственным развитием территорий. С их помощью осуществляют оперативный сбор актуальных, точных и достоверных пространственных данных. Истинные цифровые ортофотопланы (ИЦОФП) и цифровые модели местности (ЦММ) являются основой для изучения, планирования и организации наиболее рационального и эффективного использования и охраны земель. К 2030 году, согласно стратегии развития Национальной системы пространственных данных, на территорию всех населенных пунктов будут созданы ортофотопланы масштаба 1:2000, которые будут постоянно обновляться и размещаться на Единой электронной картографической основе (ЕЭКО).

Гарантом устойчивого развития государства с древних времен является эффективное налогообложение, в особенности на недвижимое имущество. Однако при проведении кадастровых работ могут появляться реестровые ошибки, которые искажают достоверность пространственных данных и налоговую базу. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) принимает контрмеры, но исправление существующих ошибок не гарантирует отсутствие перспективы появления новых.

Для решения аналогичных проблем в международной практике начинают применять полуавтономные беспилотные системы, в частности в Соединённых Штатах Америки и Китайской Народной Республике. Особенностью таких работ является государственный характер аэросъемки с использованием тяжелых военных разведывательных беспилотных воздушных судов (БВС), максимальной взлетной массой от 100 кг, с комбинированными двигателями, базирующимися на аэродромах [1-3].

Под автономной беспилотной системой для целей землеустройства, кадастров и мониторинга земель (АБС-ЗКиМЗ) следует понимать такой программно-аппаратный комплекс, который способен без помощи человека осуществлять многократный сбор, обработку и использование цифровых пространственных данных для проведения землеустроительных и кадастровых работ, мониторинга земель, геоинформационного обеспечения устойчивого пространственного развития территорий. Полуавтономная беспилотная система способна частично реализовывать поставленные задачи без участия человека. Автономность также определяется временем между техническим обслуживанием и ремонтом беспилотной системы.

В состав программно-аппаратного комплекса АБС или пАБС могут входить подземные, наземные, подводные, надводные, авиационные, космические, комбинированные и иные беспилотные аппараты [4-6].

Целью данного исследования является разработка, конструирование и применение пАБС для целей ККР (пАБС-КН).

Материалы и методы

Общая структура полностью автономной беспилотной системы для целей кадастра недвижимости (АБС-КН) представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема общей структуры полностью автономной беспилотной системы для целей кадастра недвижимости (АБС-КН)

Исходя из сформулированной структуры был произведен поиск и сравнительный анализ программно-аппаратных инструментов для разработки и конструирования АБС-КН.

Объектом исследования стал кадастровый квартал индивидуальной жилой застройкой на юге Московской области № 50:39:0050201, так как при визуальном дешифрировании данных Публичной кадастровой карты (ПКК) в нем были выявлены реестровые ошибки.

Для создания полуавтономного модуля «Программный комплекс выявления кадастровых кварталов с реестровыми ошибками» использовалось программное обеспечение (ПО) «QGIS». Данные о границах объектов недвижимости были взяты с Дежурной кадастровой карты (ДКК). Далее был произведен импорт границ. Через модуль «Пакетная обработка» была задана последовательность автономного выполнения операций. Вначале через «MapFlow Plugin» по имеющейся в ПО подложке космических снимков было выполнено автоматическое дешифрирование контуров зданий. Далее, с помощью инструмента «Проверка топологии» (с параметрами «не должно пересекаться», «не должно накладываться») были определены пересечения и наложения границ объектов недвижимости базы данных ЕГРН и определенных плагином. При визуальном анализе были выявлены реестровые ошибки.

Полуавтономный модуль «Программный комплекс подготовки технической и согласовательной документации по АФС» был реализован через чат-бот с генеративным искусственным интеллектом (ИИ-чат-бот), который подготовил текстовые документы: техническое задание, технические проект, документы для согласования АФС в Генеральный Штаб, Штаб Округа, Управление Федеральной службы безопасности по региону и муниципалитет. После чего документы в печатном виде были направлены по соответствующим адресам.

«Аппаратный комплекс по АФС» был собран из комплектующих для спортивных БВС, а станция внешнего пилота (СВП) реализована на ноутбуке с использованием нейронных сетей (рис. 2, табл. 1) [7-12].



Рис. 2. Фото БВС «Геодрон-КН-1» и аэрофотокамеры

Таблица 1. Компоненты БАС в составе ПАБС-КН

№	Характеристики	Стоимость, руб.
1	Рама	5 000,00
2	Полетный контроллер с Wi-Fi	5 000,00
3	ГНСС-модуль	10 000,00
4	Моторы	10 000,00
5	Винты	2 000,00
6	Камера «GoPro Hero 4K 2024»	20 000,00
7	Аккумулятор	5 000,00
8	Беспроводная зарядка с модулем	5 000,00
9	Станция внешнего пилота (ноутбук)	100 000,00
	Итого	162 000,00

Самыми дорогостоящими комплектующими оказались СВП и ГНСС-модуль. БВС был поставлен на государственный учет в Федеральном агентстве воздушного транспорта (Росавиация). Данный полуавтономный модуль позволяет БВС оптимально планировать маршрут и параметры аэросъемки после импорта в него границ объектов недвижимости и указания пространственного разрешения. Беспроводная зарядка позволяет БВС функционировать автономно, до истечения срока службы аккумулятора. Управление и передача данных осуществ-

вляется через глобальную сеть Интернет по Wi-Fi или по кабелю. Таким образом СВП может находиться за сотни километров от БВС.

При выполнении землеустроительных, кадастровых, геодезических, картографических и иных работ необходимо использовать утвержденные типы средств измерения (СИ), прошедшие поверку. В Российской Федерации такими СИ среди БАС являются: «Геоскан 201», «Геоскан 701», «Геоскан Gemini». В рамках исследования, сконструированный БВС прошел не сертификационную поверку на тестовом полигоне, согласно методикам поверки «Геоскан». Дисторсия определялась по методу Брауна-Конради (рис. 3) [13-16].

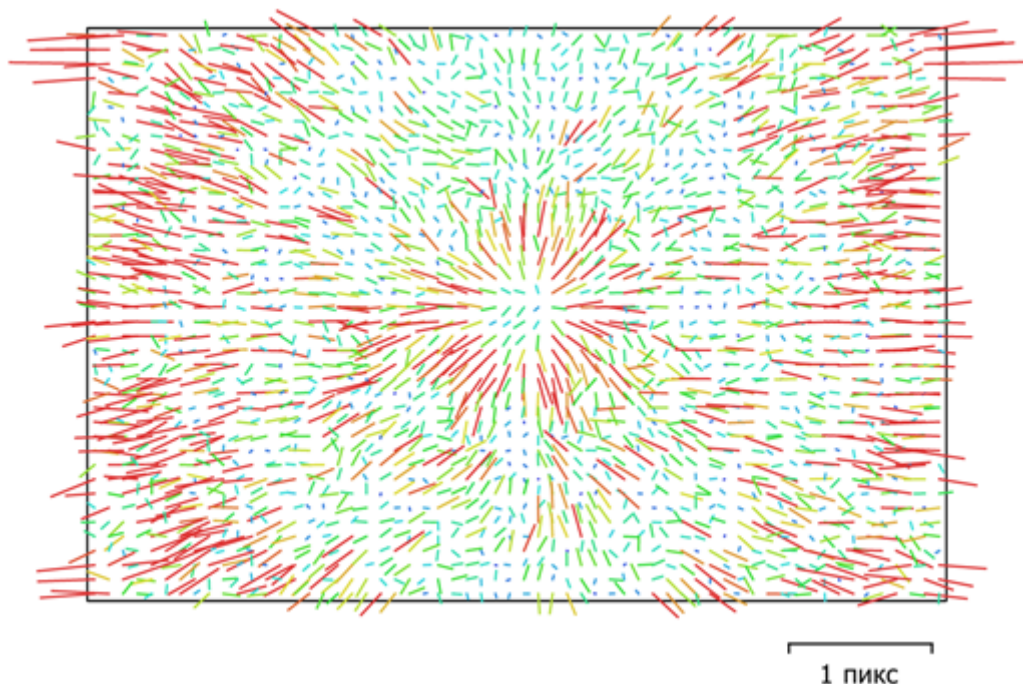


Рис. 3. Невязка по связующим точкам дисторсии аэрофотоаппарата

«Программный комплекс подготовки технической и отчетной документации» реализован с использованием ИИ-чат-бота для полуавтономного заполнения документов для «контрольного просмотра» и технического отчета после проведения обработки материалов АФС.

«Программный комплекс обработки материалов АФС» был реализован на базе ЦФС «Agisoft Metashape Professional» с использованием открытых нейронных сетей. Данный полуавтономный алгоритм был апробирован в предшествующих исследованиях автора. Смысл алгоритма заключается в классификации ЦММ и ИЦОФП по классам: «земельные участки» (определены по заборам); «объекты капитального строительства» (по стенам); «дороги», «самовольная распахка», «деревья и кустарники» (по текстуре и тону).

Для геопривязки материалов АФС был задействован метод базовой станции, которой стал ГНСС-приемник «PrinCe i30». Обработка спутниковых измерений проводилась в ручном режиме в белорусском ПО «ТИМ КРЕДО ГНСС».

«Программный комплекс интеграции пространственных данных в ЕГРН» в исследовании не рассматривался, ввиду закрытости базы данных ЕГРН.

Для сравнения комплекс аэросъемочных работ для ККР был также выполнен с БАС «Геоскан Gemini» [14-19].

Результаты

В целях соблюдения законодательства, получение разрешений на использование воздушного пространства (ИВП) и подача плана полетов в Системе представления планов полётов по сети Интернет и телефонной сети связи общего пользования (СППИ), а также звонки для разрешения взлета и окончания полетов БВС в Росавиацию производились без использования ботов и иной автоматизации.

Эффективность автономного алгоритма обработки материалов АФС представлена на рис. 4-5, где синие линии – данные о границах объекта недвижимости из ЕГРН, зеленые – одна из итераций алгоритма по определению границ, красная – итоговая итерация, истинная граница объекта недвижимости.



Рис. 4. Автономный алгоритм кадастрового дешифрирования

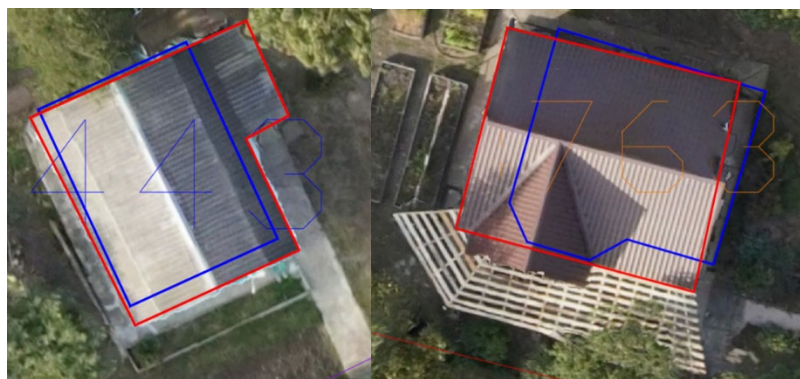


Рис. 5. Эффективное и неэффективное действие алгоритма

При аэросъемке, в ходе дешифрирования, могут быть обнаружены не отображившиеся точки или объекты, которые требуют досъемки. Данный автономный алгоритм также не лишен этого недостатка (рис. 5). Досъемка была выполнена наземными спутниковыми геодезическими методами [20-22].

После обработки в ЦФС оператор вручную внес корректировки, заполнил текстовую и графическую части карта-плана территории ККР (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение результатов ККР с применением БАС «Геоскан Gemini» и пАБС-КН

№	Характеристики	БАС	пАБС-КН
1	БВС	«Геоскан Gemini»	Геодрон-КН-1
2	Продольное перекрытие, %	80	80
3	Поперечное перекрытие, %	70	70
4	Площадь АФС, га	110	110
5	Фокусное расстояние камеры, мм	20	15
6	Высота АФС, м	140	100
7	Аэроснимков, шт.	982	1226
8	Разрешение ортофотоплана, см/пикс	3	3
9	Время работы на 1 аккумуляторе, мин.	45	25
10	Скорость полета, км/час	45	90
11	Время полета, мин.	70	60
12	Время зарядки аккумулятора, мин.	3 запасных	60
13	Средняя квадратическая погрешность в плане по контрольным точкам, см	6	8
14	Средняя квадратическая погрешность по высоте по контрольным точкам, см	9	11
15	Характерных точек по материалам АФС, шт.	85	96
16	Характерных точек при досъемке, шт.	16	16
17	Площадь уточняемых участков, га	3,5	3,5
18	Площадь образуемых участков, га	32,3	32,3
19	Площадь участков с реестровыми ошибками, га	21,4	21,4
20	Время ККР всего, дней	60	35
21	Специалистов, чел.	10	2
22	Стоимость БАС, тыс. руб.	1 800,00	162,00
23	Стоимость ПО, тыс. руб.	500,00	500,00
24	Стоимость ГНСС-оборудования, тыс. руб.	400,00	400,00
25	Оплата труда и иные затраты, тыс. руб.	400,00	70,00
26	Итоговая стоимость, тыс. руб.	3 100,00	1 132,00

Таким образом разработанная пАБС-КН показала свою эффективность в сравнении с классическими методами АФС с БАС. Однако для этих двух технологий основным источником торможения интеграции в отрасль являются бюрократические формальности. Для повышения автономности досъемки возможно проведение повторной точечной АФС на сверхмалых высотах до 10 м.

Заключение

Таким образом применение автономных беспилотных систем позволит значительно повысить скорость, эффективность, точность и достоверность прове-

дения кадастровых работ, землеустройства, мониторинга земель и иных работ для создания устойчивой системы управления пространственным развитием территорий. Основными проблемами внедрения пАБС является отсутствие сети станций базирования БВС, малое количество пунктов спутниковых геодезических сетей, бюрократические формальности по сертификации средств измерений и программного обеспечения, согласования и планирования АФС, контрольному просмотру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление проектами и программами геопространственного развития России. Региональные и отраслевые аспекты / Н.В. Комов, С.А. Шарипов, С.И. Носов [и др.]. – Москва: ООО "ВАЛНЕТ-ЦЕНТР", 2022. – 746 с. – ISBN 978-5-504-02040-2. – EDN MOZJTY.
2. Шарипов С.А. Теория и практика землеустройства на урбанизированных территориях / С. А. Шарипов, Ю. А. Цыпкин, С. П. Коростелев. – Москва: МИРА А, 2025. – 294 с. – ISBN 978-5-605-26754-6. – EDN ZNEQFD.
3. Сивцова М.В. Опыт применения беспилотных воздушных судов для наполнения единой электронной картографической основы / М.В. Сивцова // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Инновации в науке, образовании и производстве: материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 31 октября – 01 2024 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2024. – С. 171-177. – EDN YWWZVN.
4. Мелехин В.Б. Управление автономным беспилотным летательным аппаратом в нестабильной воздушной среде при поиске лесных пожаров / В.Б. Мелехин, М.В. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2022. – № 4. – С. 112-124. – DOI 10.14357/20718594220411. – EDN KVMUBK.
5. Мониторинг публикационной активности по проблеме «3D кадастр, трехмерный кадастр недвижимости» за период 2021 - начало 2024 гг / М.В. Литвиненко, Т.В. Илюшина, А.П. Сизов [и др.] // Мониторинг. Наука и технологии. – 2024. – № 1(59). – С. 106-111. – DOI 10.25714/MNT.2024.59.015. – EDN ZLVALG.
6. Чилингер Л.Н. Применение беспилотных воздушных судов при выполнении кадастровых работ / Л.Н. Чилингер, А.С. Григорьева // Актуальные проблемы геодезии, землеустройства и кадастра: Сборник материалов VI Региональной научно-практической конференции, Омск, 30 мая 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 297-300. – EDN CIRYWN.
7. Слизов А.О. Анализ проблем применения беспилотных воздушных систем в кадастровой деятельности / А.О. Слизов // Инновационные технологии для устойчивого развития земельно-имущественного комплекса : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 20-летию создания Института землеустройства, кадастров и мелиорации, Улан-Удэ, 25 апреля 2025 года. – Улан-Удэ: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова", 2025. – С. 108-112. – EDN NJOXBE.
8. Осинцева М.А. технологии дистанционного зондирования Земли с применением беспилотных воздушных судов / М.А. Осинцева, А.О. Рада, А.Д. Кузнецов // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 1. – С. 74-79. – DOI 10.17513/use.38210. – EDN DIHEET.
9. Усенко А.В. Применение беспилотных авиационных систем при мониторинге земель сельскохозяйственного назначения / А.В. Усенко, Д.И. Карапыш // Устойчивое развитие земельно-имущественного комплекса муниципального образования: землеустроительное, кадастровое и геодезическое сопровождение : Сборник научных трудов по материалам VI национальной научно-практической конференции, Омск, 21–25 ноября 2025 года. – Омск: Омский

государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2025. – С. 211-217. – EDN SGBUIW.

10. Применение беспилотных авиационных систем для оценки состояния сельскохозяйственных земель с целью последующего их вовлечения в оборот / В.А. Костеша, Е.А. Щукина, Е.В. Краснянская, Д.С. Мадис // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2025. – Т. 20, № 12(251). – С. 862-871. – DOI 10.33920/sel-04-2512-11. – EDN KLWTYE.

11. Козенцов К.И. Экономический эффект применения беспилотных летательных аппаратов и лазерного сканирования в кадастровой деятельности / К.И. Козенцов, Л.Н. Косякова // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей 9-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых : в 4 т., Курск, 15–16 мая 2025 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 173-175. – EDN LKVAKO.

12. Фролов Д.В. Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для ведения кадастра и мониторинга земель. Точность, оперативность и Выявление изменений / Д.В. Фролов // Национальные приоритеты развития агропромышленного комплекса: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 14 ноября 2025 года. – Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2025. – С. 81-85. – EDN LFJDGA.

13. Былдымов Д.А. Об использовании беспилотных летательных аппаратов в градостроительстве и кадастровых работах / Д.А. Былдымов // Наука и молодёжь : Сборник научных трудов. Выпуск 12. Инновации в современном агропромышленном комплексе. – Новочеркасск: Донской государственный аграрный университет, 2025. – С. 84-88. – EDN KTNDHK.

14. Бородина К.Ю. Беспилотные летательные аппараты в землеустройстве / К.Ю. Бородина // Вклад молодых ученых в аграрную науку: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Кинель, 24 апреля 2024 года. – Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2024. – С. 254-258. – EDN YKOQDS.

15. Куклина П.П. Использование беспилотного воздушного лазерного сканирования в целях картографирования территорий, кадастровых работ, инженерных изысканий / П.П. Куклина // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Инновации в науке, образовании и производстве: материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 31 октября – 01 2024 года. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2024. – С. 295-304. – EDN HQQCFC.

16. Куприянова К.С. Применение беспилотных летательных аппаратов для выявления кадастровых нарушений и мониторинга земель / К.С. Куприянова, К.А. Рылов, А.С. Захлебин // Современные техника и технологии в научных исследованиях : Сборник материалов XVI Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 24–26 апреля 2024 года. – Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2024. – С. 437-440. – EDN BVUVYP.

17. Крюкова О.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов в землеустройстве / О.Ю. Крюкова // Проблемы энергетики, природопользования, безопасности жизнедеятельности и экологии: Сборник материалов студенческой научно-практической конференции, Брянск, 02 апреля 2024 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. – С. 99-105. – EDN IZASTE.

18. Васильева А.П. Использование беспилотных летательных аппаратов в кадастре и землеустройстве / А.П. Васильева // Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы, Москва, 29 ноября 2022 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2023. – С. 388-392. – EDN NLCLAA.

19. Ижунцова Я.А. Беспилотные летательные аппараты в сфере землепользования и кадастра / Я.А. Ижунцова // Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы, Москва, 29 ноября 2022 года. – Москва: Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2023. – С. 406-412. – EDN REUEID.

20. Аврунев Е.И. Использование беспилотных летательных аппаратов в кадастре и землеустройстве на территории Республики Алтай / Е.И. Аврунев, В.Н. Каверин, А.А. Горбунова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 3, № 1. – С. 11-18. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-3-11-18. – EDN OLAGFT.

21. Ключниченко В.Н. Реестровые ошибки и их влияние на эффективность кадастровой системы / В.Н. Ключниченко, А.В. Дубровский, И.Н. Евсюкова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 116-124. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-116-124. – EDN MWOSCT.

22. Трыскова А.Е. Проблемы анализа пространственных данных при уточнении местоположения границ земельных участков / А.Е. Трыскова, С.А. Атаманов // Управление объектами недвижимости и комплексное развитие территорий: сборник статей IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–07 февраля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. – С. 97-103. – EDN SALXTC.

© Д. С. Мадис, 2026