

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД В КАДАСТРОВЫХ РАБОТАХ: ЦИФРОВЫЕ СТЕРЕОМОДЕЛИ И ОРТОФОТОПЛАНЫ

А.А. Алябьев (НП «Союз геодезистов и картографов Урала и Сибири»)

В 1974 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в ФГУП «Уралаэрогеодезия», с 1999 г. — в ФГУП «Уралгеоинформ», с 2014 г. работает в АО «Урало-Сибирская ГеоИнформационная Компания», в настоящее время — директор. Вице-президент НП «Союз геодезистов и картографов Сибири и Урала».

К.А. Литвинцев («ФКП Росреестра»)

В 1987 г. окончил геологический факультет Иркутского государственного университета, в 1997 г. — юридический факультет Иркутской государственной экономической академии. После окончания университета работал в Институте геохимии им. А.Г. Виноградова СО АН СССР (Иркутск), с 1997 г. — в ГУ «Дирекция Госземкадастра Иркутской области», с 2001 г. — директор ФГУ «Земельная кадастровая палата» по Иркутской области. С 2012 г. работает в ФГБУ «ФКП Росреестра», в настоящее время — директор.

Е.А. Кобзева («Урало-Сибирская ГеоИнформационная Компания», Екатеринбург)

В 1995 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работала в ФГУП «Уралаэрогеодезия», с 2000 г. — в ФГУП «Уралгеоинформ», с 2011 г. — в ООО «Технология 2000». С 2016 г. работает в АО «Урало-Сибирская ГеоИнформационная Компания», в настоящее время — главный инженер.

В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014-2020 г.)» [1] и Распоряжением Правительства РФ № 147-р от 21.01.2017 г. [2] планируется до 2021 г. кардинально изменить облик государственного кадастра недвижимости. Одной из задач является оперативное получение информации, необходимой для постановки земельных участков и объектов недвижимости на государственный кадастровый учет, а также уточнение их местоположения в соответствии с действующим законодательством. Это, в первую очередь, касается территорий населенных пунктов. Требования к ме-

тодам и точности определения координат характерных точек границ земельных участков установлены Приказом Минэкономразвития России № 90 от 01.03.2016 г. [3]. Для земельных участков, отнесенных к землям населенных пунктов, средняя квадратическая погрешность (СКП) местоположения характерных точек не должна превышать 0,10 м.

Одним из методов оперативного получения информации о земельных участках и объектах недвижимости является фотограмметрический метод, который подразумевает определение координат характерных точек по цифровому ортофотоплану или стереомодели, полученным по материалам аэрофотосъемки (АФС). Органы госу-

дарственной власти и кадастровые инженеры относятся к этому методу крайне осторожно, сомневаясь в возможности получения координат характерных точек границ земельных участков и контуров объектов недвижимости (далее — характерных точек недвижимого имущества) с точностью, указанной в [3]. На рабочем совещании в Министерстве земельных и имущественных отношений Республики Башкортостан в мае 2017 г. было принято решение о проведении сравнения точности фотограмметрического и геодезического методов. Координаты характерных точек границ земельных участков определялись по стереомодели и методом спутниковых геодезических измерений с использо-

ванием оборудования ГНСС. Среднее расхождение в местоположении точек составило 7 см. По результатам оценки было дано положительное заключение о возможности применения фотограмметрического метода при проведении кадастровых работ в населенных пунктах.

Учитывая перспективность фотограмметрического метода при проведении комплексных кадастровых работ, рассмотрим его более подробно.

В общем виде СКП определения местоположения характерной точки фотограмметрическим методом (m_s) имеет две составляющие — СКП фотограмметрического материала ($m_{фгм}$) и СКП измерения координат характерной точки ($m_{изм}$) по стереомодели или ортофотоплану:

$$m_s = \sqrt{m_{фгм}^2 + m_{изм}^2}$$

На точность создания стереомодели и ортофотоплана оказывают влияние:

— качество аэрофотоснимков — «смаз» изображения, ошибки внутреннего ориентирования, дисторсия и пр.;

— погрешности планово-высотной основы (координат и высот опорных точек и центров фотографирования), а также опознавания опорных точек на аэрофотоснимках;

— погрешности ориентирования.

Строго говоря, на точность ортофотоплана также влияют ошибки цифровой модели местности, которая была использована при ортотрансформировании аэрофотоснимков, а также сшивки ортофотоснимков. Однако в рамках статьи условимся, что эти дополнительные погрешности пренебрегаемо малы, и примем, что СКП стереомодели и ортофотоплана имеют равные значения.

Принимая $m_s = 10$ см, в соответствии с требованиями [3], а $m_{фгм} = 6$ см, согласно [4], и, опираясь на приведенную выше формулу, получим, что СКП измерения координат характерной точки по фотограмметрическим материалам ($m_{изм}$) не должна быть более 8 см.

Известно, что стереоскопические измерения более надежны и точны, чем моноскопические. Данное свойство отражено и в нормативно-технических документах [5–7]. СКП измерения координат характерных точек недвижимого имущества по стереомодели и по ортофотоплану не идентичны друг другу.

Для понимания того, насколько существенно они отличаются друг от друга, в АО «Урал-Сибирская ГеоИнформационная Компания» была выполнена экспериментальная оценка точности измерений по стереомоделям и ортофотопланам.

В соответствии с требованиями инструкций [5, 8–11], по материалам АФС с пилотируемого и беспилотного летательных аппаратов, были подготовлены цифровые стереомодели и ортофотопланы масштаба 1:200 (табл. 1). Территория для АФС была выбрана типовой для средних и малых городов, а также поселков городского типа [8].

По каждой стереомодели и ортофотоплану было определено 100 характерных точек: 50 характерных точек границ земельных участков и 50 характерных точек контуров объектов недвижимости. Каждая характерная точка измерялась двумя специалистами в два приема: четыре раза по ортофотопланам и четыре раза по стереомоделям. Таким образом, было выполнено 1600 измерений.

Измерения выполнялись специалистами с опытом фотограмметрических работ более 10 лет, обладающими остротой стереозрения, соответствующей нормативам [4], с помощью ЦФС PHOTOMOD и ГИС «Панорама».

Правильная идентификация объектов на аэрофотоснимках после их фотограмметрической обработки зависит от множества факторов: конфигурации и высоты объекта, контраста с окружающей местностью, направления визирования на объект и пр. Результаты выполненных экспериментальных работ пока-

Характеристики исходных данных

Таблица 1

Наименование характеристик	Тип аэрофотосъемки	
	Пилотируемая	Беспилотная
Летательный аппарат	Ан-2	Геоскан 201
Аэрофотокамера	UltraCamX	Sony DSC-RX1
Высота фотографирования, м	600	300
Номинальный размер проекции пикселя снимка на местности, см	6	5
Планово-высотная основа	Маркированные опознаки	Маркированные опознаки
Фотограмметрическое ПО	ЦФС PHOTOMOD	ЦФС PHOTOMOD, Agisoft PhotoScan
Площадь АФС, га	10 347	3177

Результаты идентификации характерных точек недвижимого имущества

Таблица 2

Вид фотограмметрического материала	Количество измеренных характерных точек / процент			
	Уверенная идентификация		Отсутствие возможности идентификации	
	Тип летательного аппарата			
	Беспилотный	Пилотируемый	Беспилотный	Пилотируемый
<i>Границы земельных участков (деревянные, металлические, каменные заборы)</i>				
Стереомодель	46/92	40/80	4/8	10/20
Ортофотоплан	22/44	19/38	28/56	31/62
<i>Контуры объектов недвижимости</i>				
Стереомодель	40/80	36/72	10/20	14/28
Ортофотоплан	18/36	14/28	32/64	36/72

зали, что по стереомоделям уверенно было распознано 86% характерных точек границ земельных участков (хорошая видимость, четкий контур) и 76% контуров объектов недвижимости, а по ортофотопланам — 41% и 32%, соответственно (табл. 2).

Очевидно, что часть характерных точек недвижимого имущества в населенном пункте не видна на аэрофотоснимках из-за «завалов» строений, ограждений, плотных теней, нагромождения объектов и т. п. В

проведенном эксперименте таких недоступных точек оказалось 14–24% при измерениях по стереомоделям и 59–68% при измерениях по ортофотопланам.

Разброс показателей между стереомоделями и ортофотопланами не случаен. На стереомоделях больше прямых и косвенных признаков, по которым можно ориентироваться (контроль с нескольких стереопар, трехмерный вид объектов и т. д.). В случае с ортофотопланом, представляющим собой

плоское двухмерное изображение, контроль по теням и «завалам» не всегда объективен.

По материалам АФС с пилотируемого летательного аппарата удалось дешифровать чуть меньше характерных точек, чем по материалам съемки с беспилотного летательного аппарата (табл. 2). Причина заключается в меньшем поперечном перекрытии снимков, и, следовательно, меньшем количестве возможных ракурсов.

Далее было выполнено сравнение координат одноименных

Оценка расхождений в координатах характерных точек недвижимого имущества в плане (АФС с беспилотного летательного аппарата)

Таблица 3

Тип объектов	Общее количество точек	Количество точек с уверенной идентификацией на ортофотоплане	Диапазон расхождений, м		
			От 0,00 до 0,11	От 0,12 до 0,22	Более 0,23
Количество расхождений / процент					
Граница земельного участка	50	22	12/55	8/36	2/9
Контур объекта недвижимости	50	18	6/33	7/39	5/28

Оценка расхождений в координатах характерных точек недвижимого имущества в плане (АФС с пилотируемого летательного аппарата)

Таблица 4

Тип объектов	Общее количество точек	Количество точек с уверенной идентификацией на ортофотоплане	Диапазон расхождений, м		
			От 0,00 до 0,11	От 0,12 до 0,22	Более 0,23
Количество расхождений / процент					
Граница земельного участка	50	21	15/71	6/29	0/0
Контур объекта недвижимости	50	14	9/64	4/29	1/7

характерных точек на стереомоделях и ортофотопланах. Сравнивались только точки с уверенной идентификацией. Как показано выше, $m_{изм}$ не должна превышать 8 см. Поскольку сравниваются два вида продукции — стереомодель и ортофотоплан, причем с одинаковыми исходными данными (одни и те же АФС, планово-высотная подготовка, аналитическая фототриангуляция), можно считать, что расхождение в местоположении характерной точки не должно превышать:

$$\Delta m_s = m_{изм} \sqrt{2} = 0,11 \text{ м,}$$

при этом 10% расхождений могут находиться в диапазоне 0,12–0,22 м, а расхождения 0,23 м и более не допускаются.

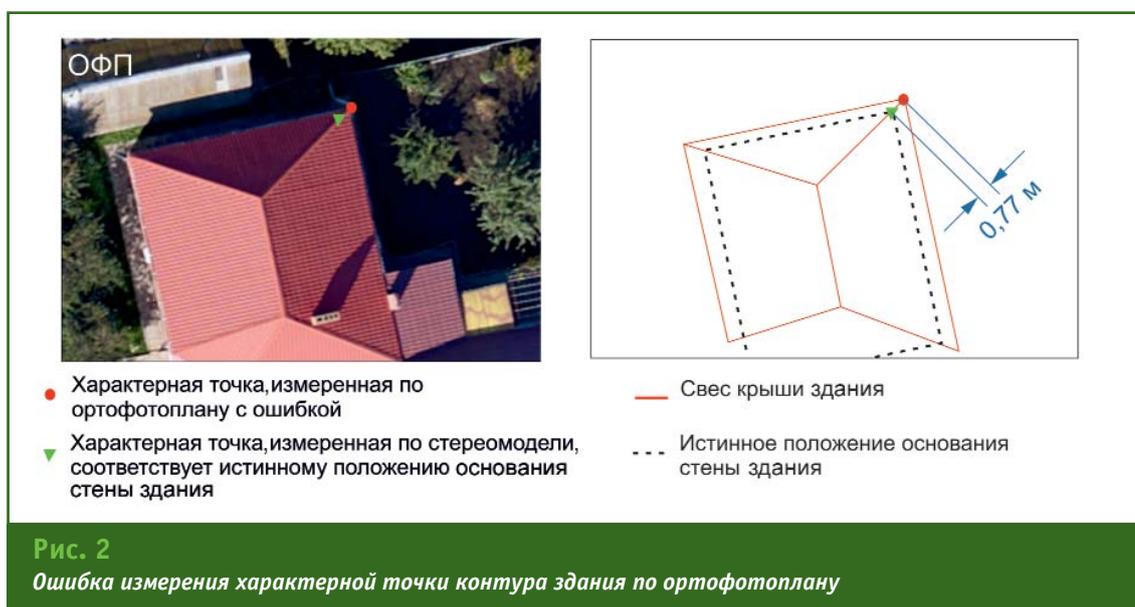
На практике указанному требованию удовлетворяет от 33 до 71% измерений (табл. 3 и 4).

Рассмотрим, с чем связаны расхождения в определении координат характерных точек в плане.

Во-первых, точность стереоскопического визирования выше моноскопического. Так, в данном эксперименте средняя

квадратическая погрешность стереоскопического визирования составила 4 см, моноскопического — 6 см.

Во-вторых, часть характерных точек, изображение которых не вызвало сомнений у операторов, на самом деле была идентифицирована на ортофотоплане с ошибкой. Например, на рис. 1 основание ограждения находится в тени и не распознается, по ортофотоплану измерения выполнены по верху ограждения; ошибка в местоположении составила 0,21 м. На рис. 2 основание стены здания



не идентифицируется на ортофотоплане из-за свеса крыши. За основание стены ложно принят водосточный желоб; ошибка в местоположении составила 0,77 м.

В таких случаях достаточно трудно определить, что идентификация характерной точки объекта недвижимости была выполнена с ошибкой.

В-третьих, ортофотоплан является производной продукцией от стереомодели — другой технологической схемы не существует, вне зависимости от программного обеспечения. Соответственно, на ортофотоплане накапливаются искажения, вызванные влиянием цифровой модели рельефа, ортотрансформирования, сшивки ортоснимков.

Полный анализ выполненных измерений показал, что количество определений местоположения характерных точек границ недвижимого имущества в населенных пунктах с СКП менее 10 см составило: по ортофотоплану — 24–30% (для земельных участков) и 12–18% (для объектов недвижимости), а по стереомодели — 80–92% (для земельных участков) и 72–80% (для объектов недвижимости).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Координаты характерных точек недвижимого имущества можно определять с помощью фотограмметрического метода. При этом в качестве исходных данных используются результаты аэрофотосъемки как с пилотируемых, так и с беспилотных летательных аппаратов.

2. Дешифрирование и измерение координат характерных точек недвижимого имущества в населенных пунктах должны выполняться по стереомоделям.

3. Стереофотограмметрический метод полностью удовлет-

воряет требованиям действующего законодательства и в камеральных условиях обеспечивает определение координат до 90% характерных точек недвижимого имущества. При этом полевые работы по добору характерных точек геодезическими методами могут быть сведены к минимуму.

Методика стереофотограмметрических измерений более проста по сравнению с измерениями по ортофотопланам, вследствие большего количества дешифровочных признаков объектов.

При проведении кадастровых работ к таким измерениям должны допускаться специалисты с достаточной остротой стереозрения, обученные как навыкам стереонаблюдений, так и особенностям визирования на характерные точки недвижимого имущества (например, определение местоположения границ земельного участка в соответствии с проектом межевания, правоустанавливающим документом, фактическим землепользованием). В рамках пятидневного курса повышения квалификации кадастровые инженеры и геодезисты уверенно осваивают стереоскопические измерения.

4. Ортофотопланы непригодны для определения координат характерных точек границ земельных участков и контуров объектов недвижимости при проведении кадастровых работ в населенных пунктах.

Можно утверждать, что фотограмметрический метод — точный и объективный инструмент для выполнения и приемки кадастровых работ, в том числе комплексных кадастровых работ.

Использование фотограмметрических материалов обеспечивает единство измерений (сходимость планового положения границ недвижимого иму-

щества) на территории населенных пунктов.

▼ Список литературы

1. Федеральная целевая программа «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014–2020 годы)».

2. Распоряжение Правительства РФ от 21.01.2017 г. № 147-р «О целевых моделях по повышению инвестиционной привлекательности субъектов РФ».

3. Приказ Минэкономразвития России от 01.03.2016 г. № 90 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения и помещения».

4. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

5. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства.

6. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1:2000 и 1:5000. — М.: ЦНИИГАиК, 1980.

7. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. ВСН 208-89. — М.: ЦНИИС Минтранстроя СССР, 1990.

8. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

9. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-79. — М.: Недра, 1982.

10. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

11. Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ. ГКИНП (ГНТА)17-004-99. — М.: ЦНИИГАиК, 1999.