

Опыт применения БПЛА в археологии: возможности и методика исследований

ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет

Крупочкин Е.П., Папин Д.В., Воробьев Д.А.

В археологии и связанных с ней науках и научных дисциплинах технология развиваются три основных подхода, предусматривающие активное применение БПЛА и технологии беспилотной съемки:

- 1 – Естественно-научный;
- 2 – Инженерно-технический;
- 3 – Мультидисциплинарный.

Суть первого подхода заключается в получении новых исторических знаний об исследуемых объектах, как на этапе дораскопочных исследований, так и на более поздних этапах – т.е. в процессе раскопок. На этапе раскопок, анализа образцов и находок материальной культуры выполняется съемка культурных слоев, фото- и видеофиксация артефактов, панорамная и трехмерная съемка кадровыми фотоаппаратами, лазерная съемка.

Второй подход воплощает принципы и технологию аэрокосмических и геофизических методов. Согласно Ю.Ф. Книжникову и др. (2004, 2011) аэрокосмические методы нашли отражение в широко распространенных англоязычных терминах «**remote sensing**» и «**remote sensing techniques**». Он более актуален для экспертизы и археологических изысканий, предусматривающих получение точных сведений о границах памятников, их состоянии, культурной принадлежности и ценности.

Третий подход характеризуется мультидисциплинарностью. Это проявляется в дополнительных возможностях получения максимального количества информации о древнейшей истории человечества. Он базируется на сочетании методов и технологий: классической археологии, инструментальных полевых методов, дистанционных методов и геофизики, ГИС-технологий и математического моделирования и др. Анализ и интерпретация получаемых результатов особенно ярко проявляется при использовании картографических методов в купе с современными ГИС.

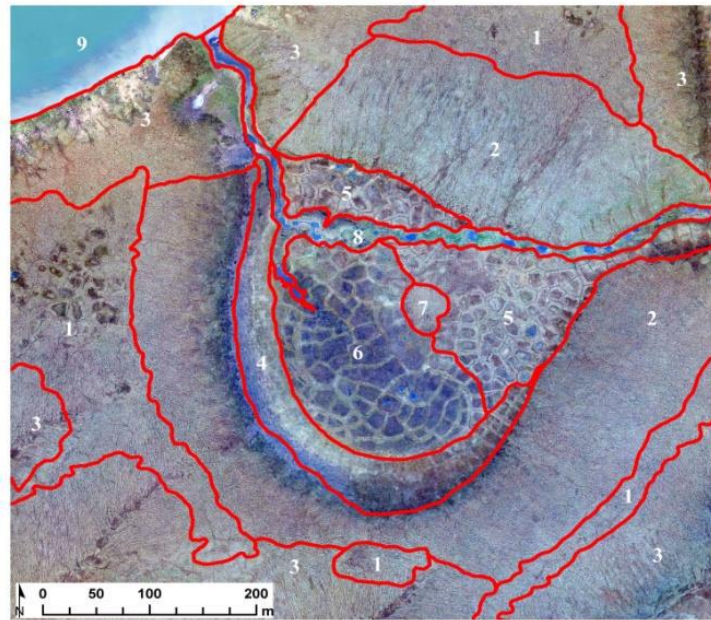
Все направления находятся на подъеме и вызывают бурный интерес как потенциальных пользователей таких технологий, как в науке, так и в практической деятельности.

ПРИМЕР - 1

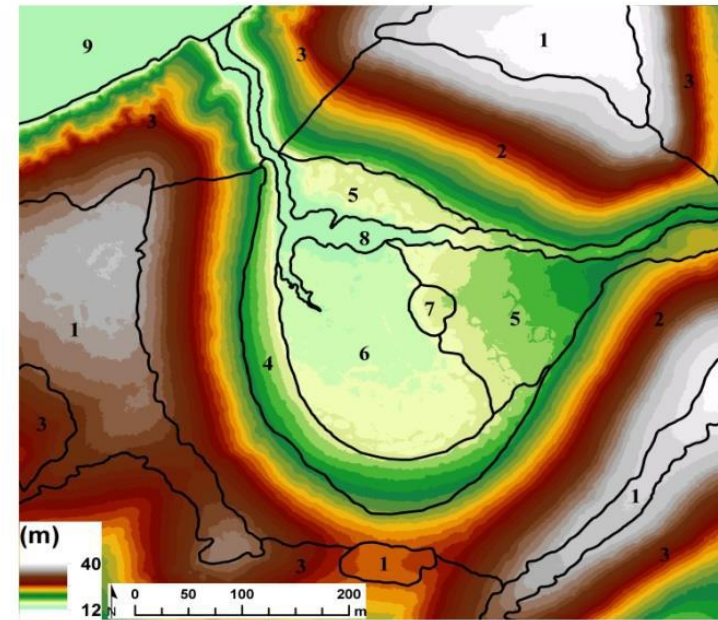
Исследования под руководством науч. сотр. ИГМ СО РАН Андрей Акакиевич Картозия

ГИС-анализ ДДЗ с БПЛА позволяет с сантиметровой точностью выявлять участки земной поверхности, имеющие различную историю формирования и морфометрические характеристики рельефа в настоящий момент. Кроме того, выявление преобладающих термоденудационных процессов, распространенных в их пределах, позволяет прогнозировать будущую трансформацию этих ландшафтов. Данное исследование дополнило современное представление о процессах термокарста в районе дельты реки Лены и проиллюстрировало перспективы применения ДДЗ с БПЛА при высокоточном геоморфологическом и геокриологическом картографировании.

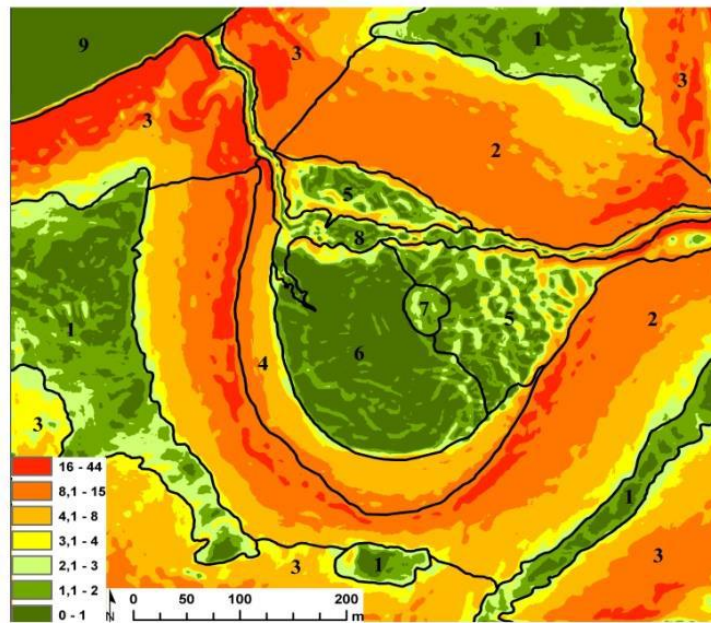
Формы рельефа, выделенные на основе ГИС-анализа ДДЗ с БПЛА: 1 – останцы ледового комплекса (едомы); 2 – склоны аласа; 3 – склоны; 4 – III уровень дна аласа; 5 – II уровень дна аласа; 6 – I уровень дна аласа; 7 – пинго; 8 – долина ручья; 9 – северо-западное озеро; *a* – аэрофотоснимок; *b* – схема углов наклона поверхностей; *c* – цифровая модель рельефа; *d* – теневая модель рельефа, желтыми линиями обозначены границы дренажных бассейнов



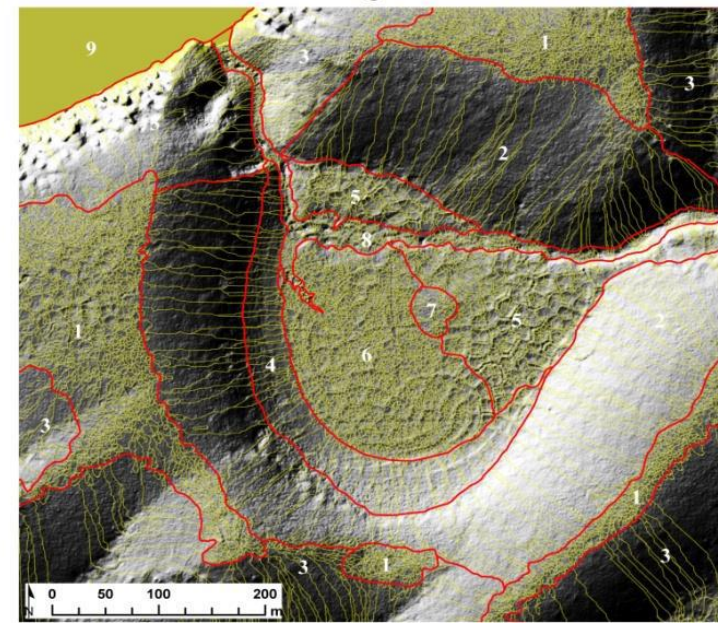
a



b



c



d

ПРИМЕР - 2

А.А Тишкин, А.П. А.П. Фирсов, И.Н. Злыгостев, А.В. Савлук, А.С. Колесов, А.С. Шеремет
(Алтайский государственный университет; Институт нефтегазовой геологии и геофизики,
Новосибирский государственный университет)

МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА «ЦАРСКОГО» КУРГАНА И БЛИЖАЙШЕЙ ТЕРРИТОРИИ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ ПАМЯТНИКЕ УРОЧИЩЕ БАЛЧИКОВА-3 С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Археологический памятник Урочище Балчикова-3 находится у с. Сентелек в Чарышском районе Алтайского края и известен благодаря крупному («царскому») кургану пазырыкской культуры, изучение и частичная музеефикация которого предпринимались в 1990-е и в начале 2000-х гг. Данный комплекс, несмотря на ограбленность и другие разрушения, сохранил ряд важных конструктивных особенностей. Кроме него, выявлены и раскапывались объекты других эпох. Собраны разные сведения историографического плана, а также зафиксированы местные легенды, привлекающие внимание краеведов и туристов. В 2017 г. была проведена магнитометрическая съемка части памятника для детального изучения его планиграфии и демонстрации специфики погребально-поминального комплекса, основу которого составляет «царский» курган. Для такой работы использовался аэромагнитный комплекс с высокочастотным магнитометром на базе легкого беспилотного летательного аппарата. Полученные результаты накладывались на доступный снимок из космоса, а также сравнивались с имеющимся планом тахеометрической наземной фиксации и другими данными. Они позволяют наметить продолжение такой работы на большей территории.

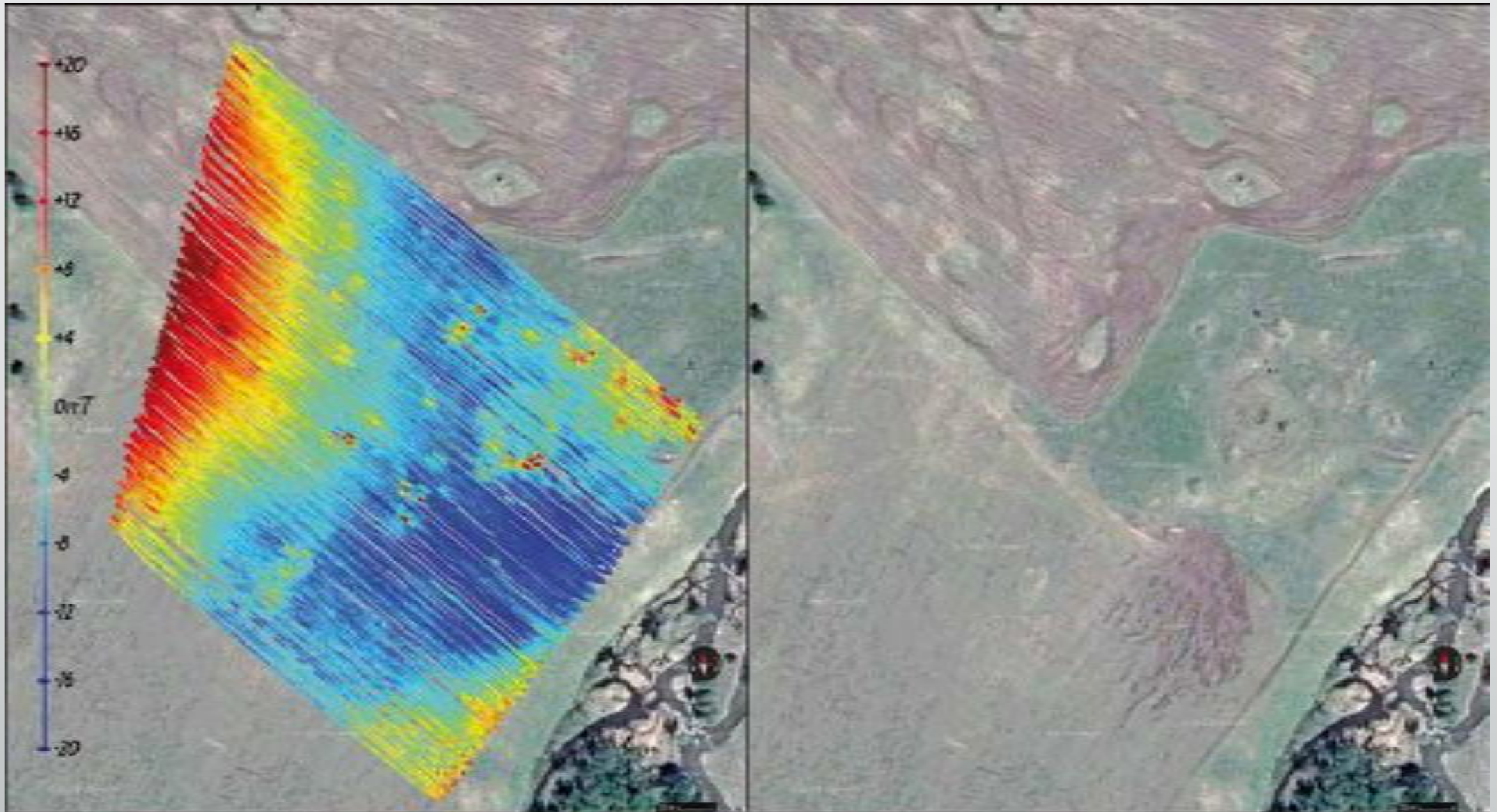
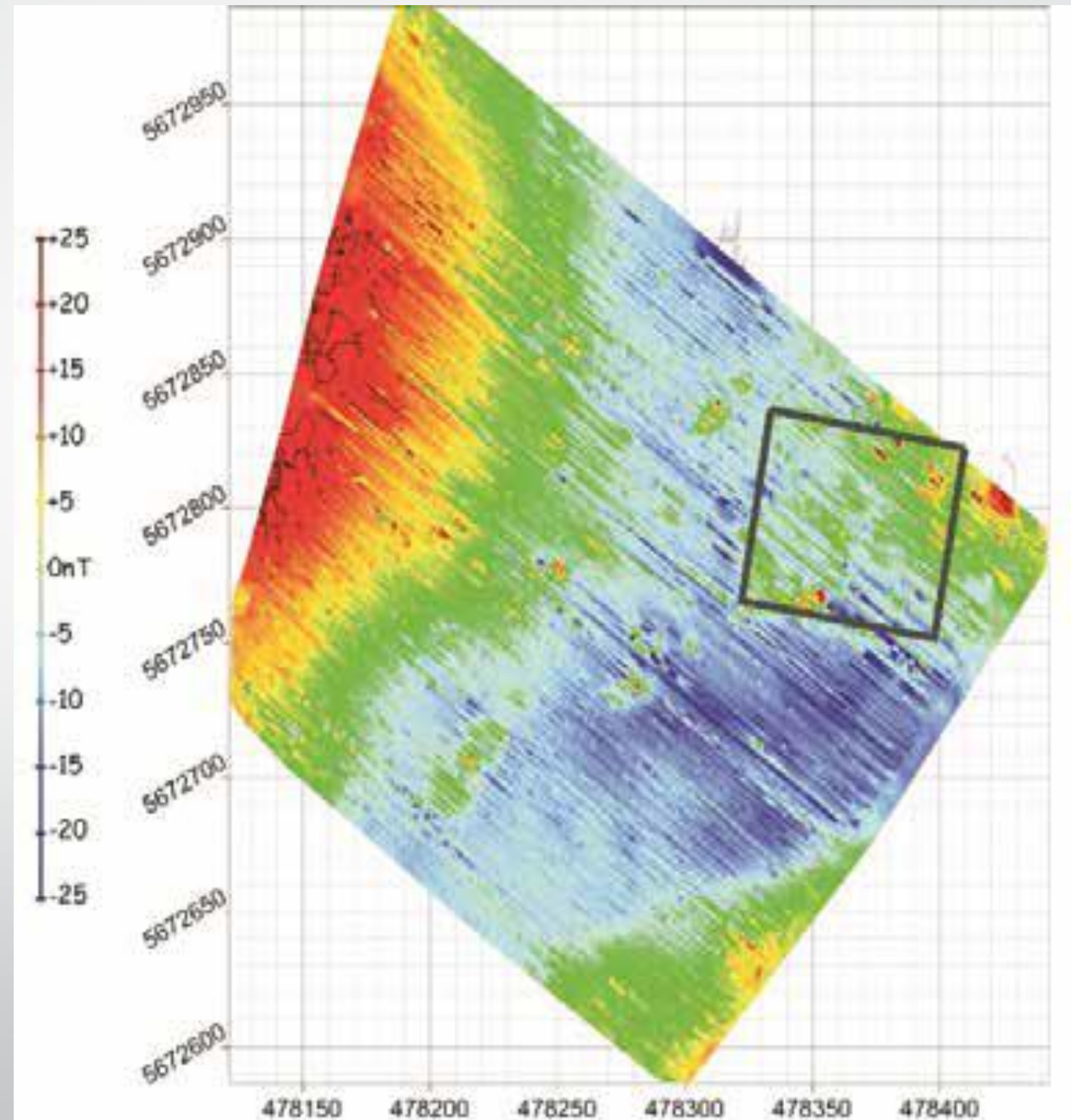


Рис. 7. Расположение площади работ на карте (Google Map),
справа – космический снимок, слева – та же площадь
с картой магнитной съемки в том же масштабе

Карта магнитного поля с
примерно обозначенными
границами предыдущих
археологических работ



ПРИМЕР – 3

Исследования коллектива: Журбин И.В., Антипина Е.Е., Иванова М.Г., Лебедева Е.Ю., Модин Р.Н., Сергеев А.Ю., Яворская Л.В. Междисциплинарные исследования Кушманского городища Учкакар IX-XIII вв.: методика комплексного анализа [коллективная монография] / Отв. ред. И.В. Журбин. - М: ТАУС, 2018. - 248 с.

Представлены результаты междисциплинарных исследований одного из наиболее значимых памятников финно-угорского средневековья бассейна р. Чепцы – Кушманского городища Учкакар. Материалы монографии включают комплексный анализ содержания культурного слоя памятника, результаты реконструкции планировки, этапов формирования и развития его структуры. При изучении городища Учкакар использовался такой комплекс методов естественных наук, как аэрофотосъемка беспилотными летательными аппаратами, геофизические и почвенные исследования, археозоологический и археоботанический анализ материалов культурных напластований, методы пространственного анализа в геоинформационных системах.



Рис. В2. Ортофотоплан Кушманского городища Учкакар (обработка – начальник отдела камеральной обработки ООО «Финко» Н.Г. Воробьева)



Рис. 1.2. Алгоритм междисциплинарных исследований

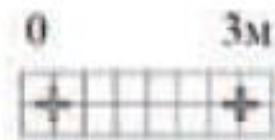
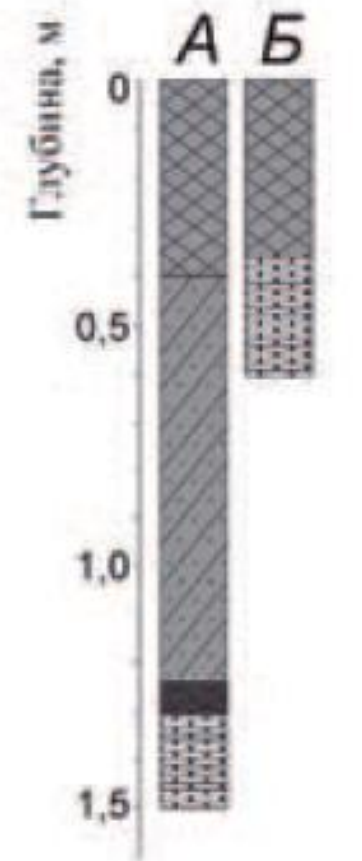
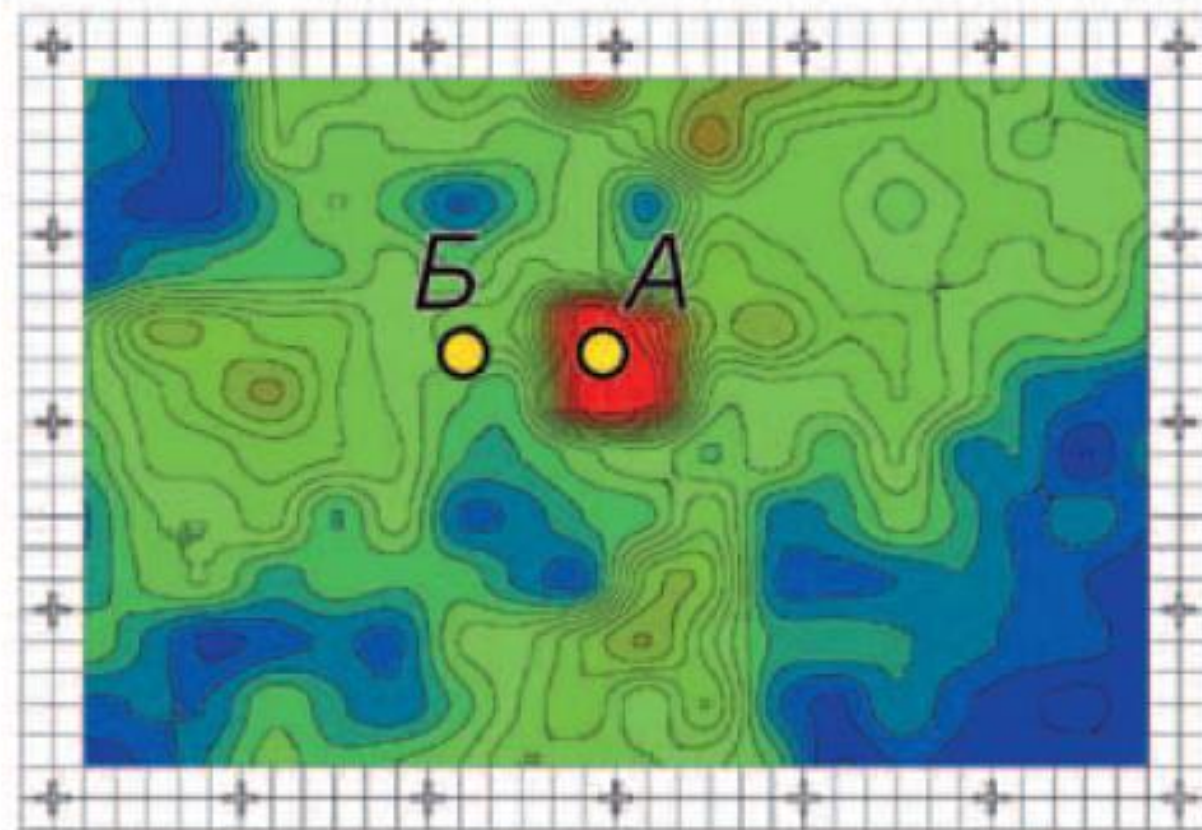


Рис. 1.8. Почвенные исследования геофизической аномалии на напольной части городища Учцакар. Литологическое строение кернов почвенных зондажей.

1 – серо-бурый тяжелый суглинок; 2 – серый легкий суглинок (культурный слой);
3 – глина с углями; 4 – материковая глина

При планировании исследований с использованием БПЛА необходимо учитывать, что беспилотная съемка для археологии (кроме самой археологии) лежит в плоскости дистанционного зондирования, фотограмметрии, картографии и естественно-научных методов. Отсюда и область применения в археологических исследованиях беспилотной техники, а также возможности самой съемки также довольно разнообразны (см. табл.).

На этапе рекогносцировки происходит обследование местности с целью установления природно-географических, геоморфологических и др. условий местонахождения памятников, делаются попытки предварительного анализа возможного нахождения артефактов. Предпринимается увязка возможных закономерностей распределения археологических объектов с археологическим ландшафтом и климатическими условиями рассматриваемой (с позиции принадлежности памятников) эпохи. Кроме стандартных рекогносцировочных процедур на данном этапе возможно проведение подспутникового эксперимента – в случае использования материалов космической съемки, или сбор и описание образцов (состояние памятников и поверхностного слоя) используемых в качестве эталонов в дальнейших алгоритмах обучения как элемент компьютерного дешифрирования.

На этапе археологической разведки выполняется классическая (традиционная) съемка территории, характеризующаяся применением цифровых топографических аэрофотосъемочных камер или использованием бытовых и промышленных цифровых камер.

Типовая
 обобщенная схема
 использования
 беспилотной
 техники
 и различных
 видов съемок в
 археологических
 исследованиях

1. Рекогносцировка	2. Археологическая разведка	3. Полевые исследования
Обследование местности с предварительной природно-географической и культурно-исторической оценкой территории	1 Классическая съемка территории в дораскопчных исследованиях	a Одиночная, серийная и комплексная съемка
	2 Мультиспектральная, тепловизионная и лазерная съемка в дораскопчных исследованиях	b Мультиспектральная, тепловизионная и лазерная съемка в начале раскопок и финальной фазе
	3 Предобработка, фотограмметрическая обработка, визуальное или полуавтоматическое дешифрирование	c Фотограмметрическая обработка и компьютерное дешифрирование отдельных объектов и территории изысканий
	4 Наземная инструментальная съемка (в том числе геофизическая), использование методов магнитометрии и электроразведки	d Соотнесение материалов воздушной съемки с данными геодезических съемок
Результаты (продукты)		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Снимки ▪ Квиклуки ▪ Цифровые модели рельефа (ЦМР) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Наборы данных – эталонов (образцов) для дешифрирования ▪ Результаты дешифрирования объектов археологии по материалам классической (видимый спектр) и мнгозональной (инфракрасный спектр) съемок ▪ Цифровые модели местности и высот археологического ландшафта ▪ Трехмерные векторные и растровые модели памятников ▪ Предварительно выделенные границы памятников/комплексов 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Результаты дешифрирования объектов археологии по материалам классической (видимый спектр) и мнгозональной (инфракрасный спектр) съемок ▪ Достоверно выделенные и нанесенные на карту границы памятников (комплексов) ▪ Археолого-геоинформационная система как инструмент визуализации и ретроспективного моделирования

Для наших исследований характерны следующие условия:

- 1) применение полубытовых/полупрофессиональных камер для фото- и аэросъемки;
- 2) использование в качестве носителя полезной нагрузки коптера серийного образца;
- 3) наличие топографических планов и материалов инструментальных съемок прошлых лет, что обеспечивает точную привязку отснятых данных и при необходимости позволяет сделать трансформирование снимков;
- 4) выполнение съемки фактически на этапе постполевых исследований, т.е. значительно позже самих раскопок.

Летательный
аппарат
коптерного
типа **DJI**
Inspire-1,
используемый
в для съемки





Тренировочный полет над территорией историко-архитектурного музея под открытым небом Института археологии и этнографии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, 2018 г)

Стадии выполнения работ:

Начальная стадия работы с комплексом предполагает проверку оборудования, настройку программы управления полетом и калибровку.

Для составления полетного задания используется программы Ground Station Pro, Pix4D, MapPilot и др. Перечисленные программы позволяют задавать необходимые параметры, учет которых важен для дешифрирования и составления по материалам съемки цифровых моделей местности.

Принципиальное отличие способов съемки под ручным и автоматическим управлением состоит в соблюдении заданных (оптимальных) параметров: высоты фотографирования; значений продольного и поперечного перекрытия; базиса фотографирования; расстояний между маршрутами; интервала фотографирования; числа маршрутов на съемочных участках и др. При ручном управлении выполнение всех заданных условий съемки весьма затруднительно, поэтому важное значение имеет возможность составлять полетное задание для автопилота. Все указанные выше программы позволяют корректно составлять полетное задание с учетом снимаемой площади и времени полета.

Получение результатов и анализ

Исходные съемочные материалы получены с помощью аппарата DJI Inspire-1, реализация полетных заданий и контроль съемки производились с помощью программы Pix4D Capture.

Для получения продуктов фотограмметрической обработки в виде ортофотопланов и 3D-моделей археологических памятников мы использовали программу Agisoft PhotoScan (отечественная разработка, компания «Геоскан», г. Санкт-Петербург).


Общий цикл обработки изображений с помощью PhotoScan можно представить в следующем виде:

Загрузка изображений в проект → Монтаж и удаление ненужных кадров → Выравнивание фотографий → Построение плотного облака точек → Построение трехмерной полигональной модели → Создание текстуры объекта → Построение тайловой модели → Построение цифровой модели местности → Построение ортофотоплана → Экспорт результатов.

В качестве полигона для апробации данного подхода был использован комплекс памятников около с. Сростки Алтайского края.

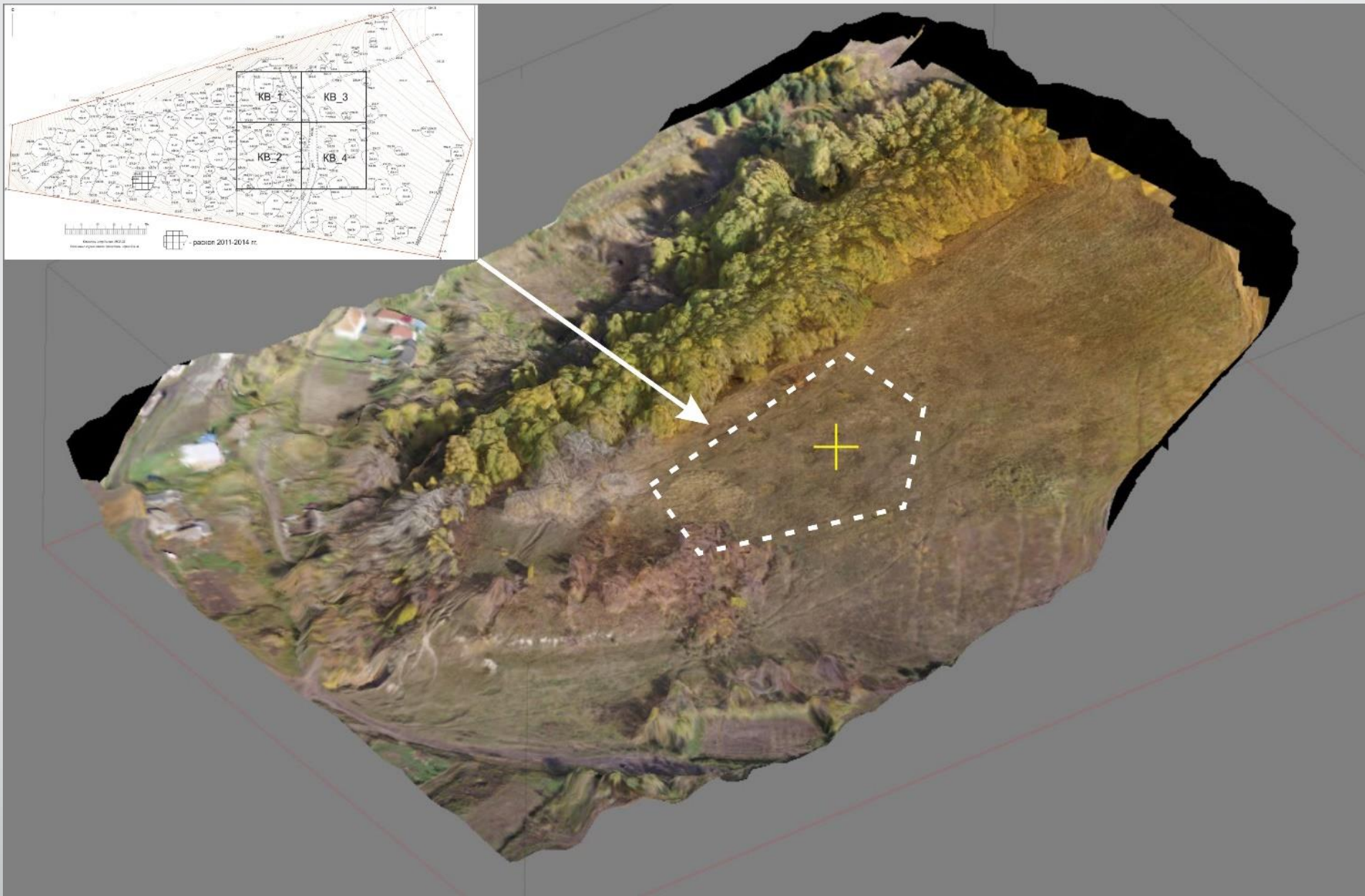
Здесь расположены два объекта археологического наследия, отвечающие необходимым требованиям для проведения съемки. Первый – это городище Пикет расположено на юго-восточной окраине с. Сростки Бийского района Алтайского края. Объект занимает площадку на правой береговой террасе р. Катунь высотой до 50 м, на западном мысовом выступе горы Пикет, и с трех сторон ограничен крутым склоном. Склон мыса, на котором расположено городище, имеет выпуклую форму: верхняя часть более пологая, нижняя – более крутая. Поверхностные отложения представлены покровными лессовидными суглинками. Площадь памятника составляет до 1,5 га. Городище состоит из 86 жилищных западин размерами от 4 × 5 до 13 × 14 м, глубиной 0,4–0,8 м и имеет четко выраженную, архитектурно организованную застройку.

Жилищные западины располагаются вдоль мыса по направлению запад – восток и концентрируются в центральной части памятника. Археологические исследования проведенные Алтайским государственным университетом показали, что памятник датируется переходным временем от бронзы к железу [Папин, Редников, Федорук, Фролов, 2017].

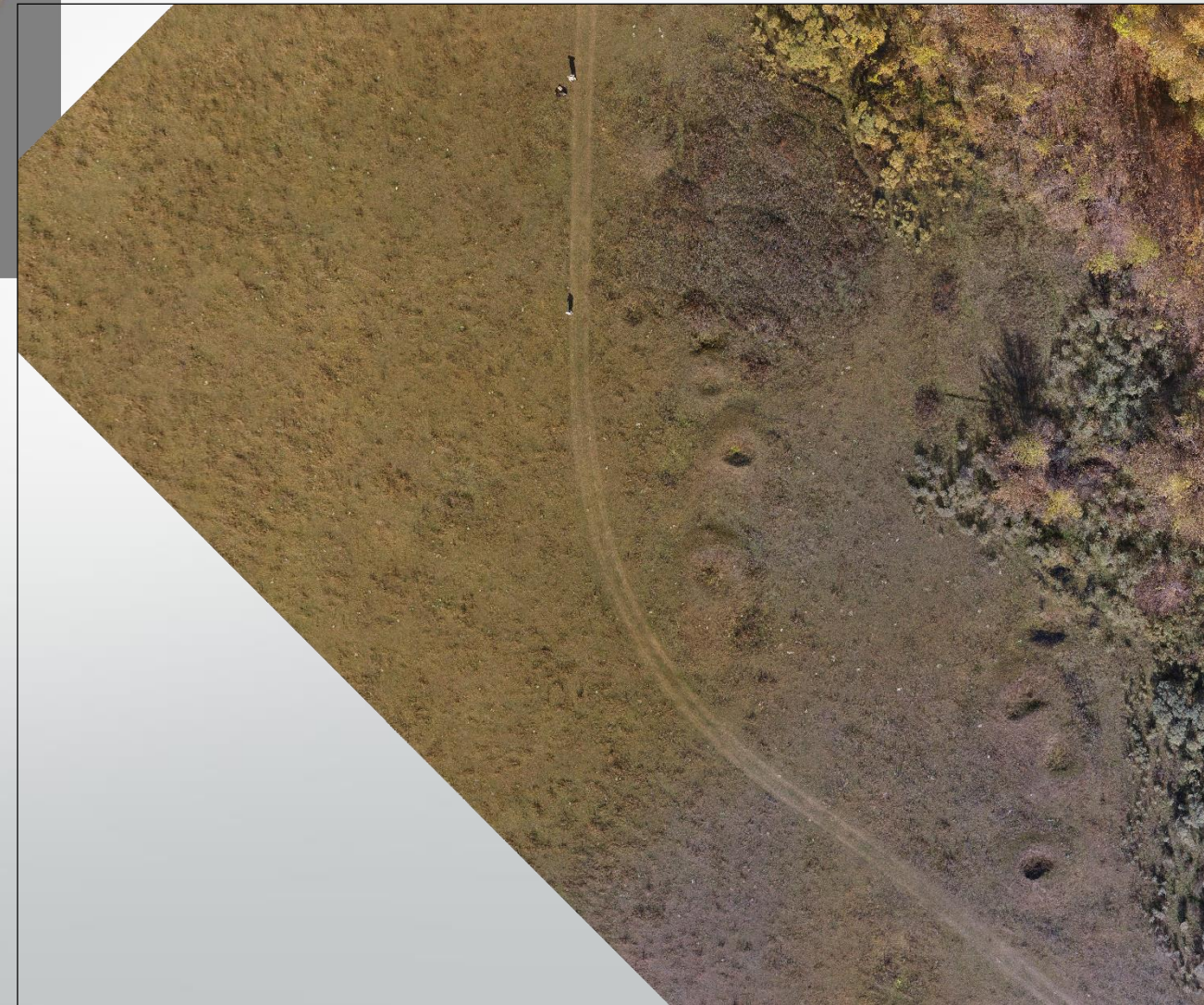
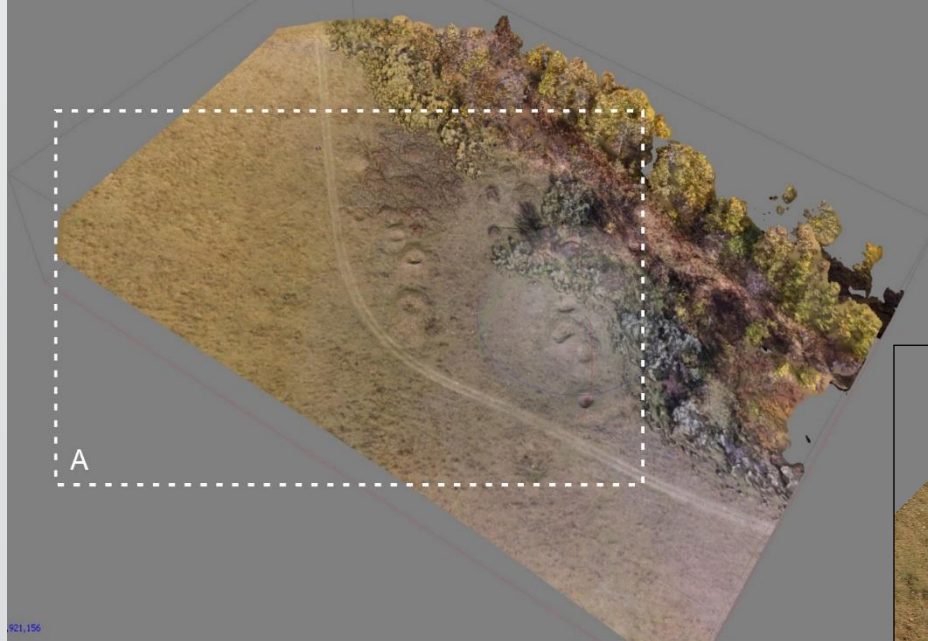


Второй памятник – курганная группа Сrostки-2. Его объекты располагаются на южном покатом склоне горы Пикет, на правом берегу Катуня.

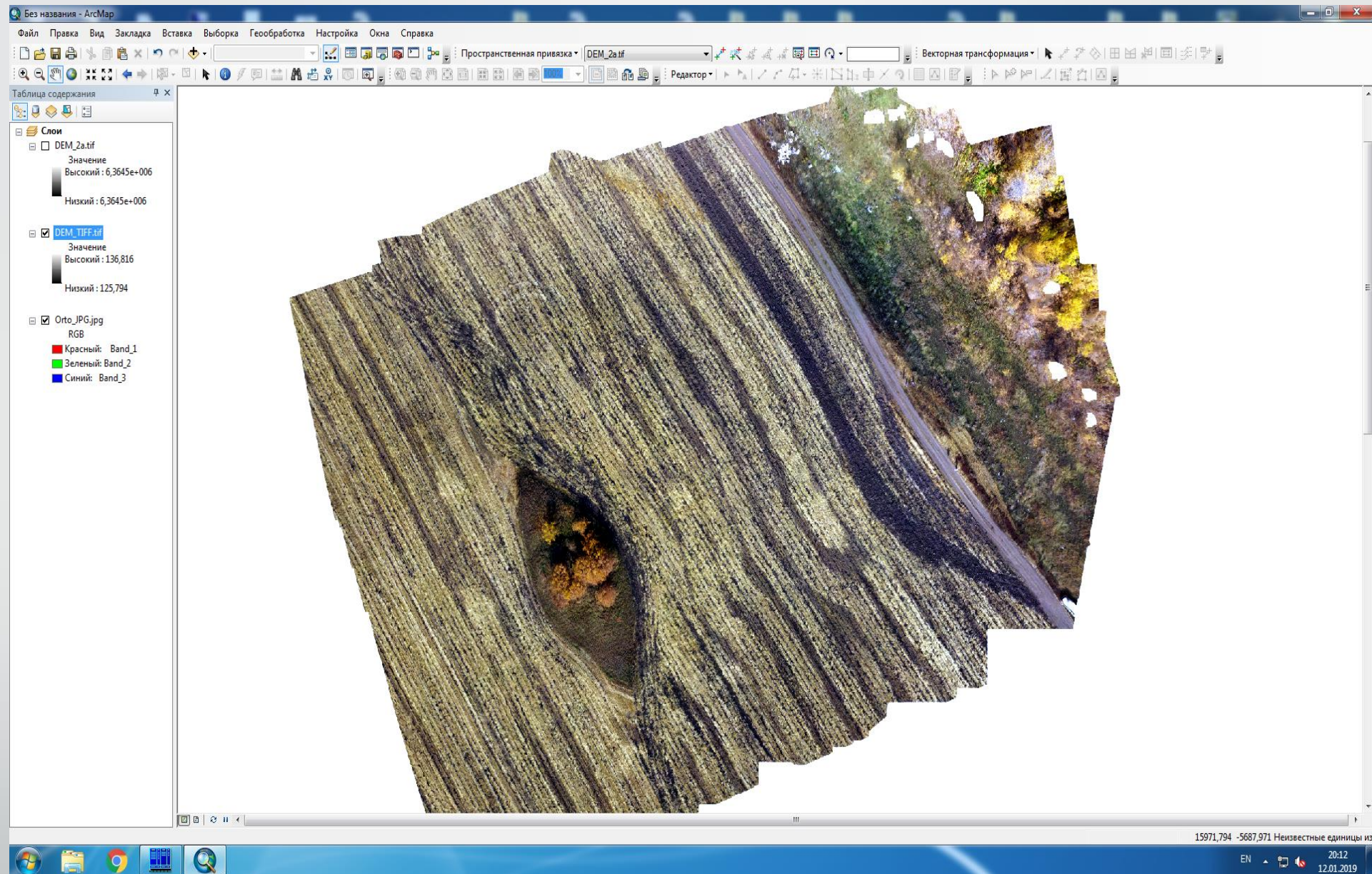
По результатам проведения полевых работ, были построены 3д модели археологических памятников, а так же ортофотопланы. Высокое качество изображения позволяет провести пространственный анализ отдельных объектов, как на городище, так и курганном могильнике и выявить особенности архитектурно - планировочных решений.



Трёхмерная модель городища «Пикет» с планом раскопа 2011-2014 гг.



Трёхмерная модель могильника
«Сростки-2». Курганная группа с
фрагментом ортофотоплана

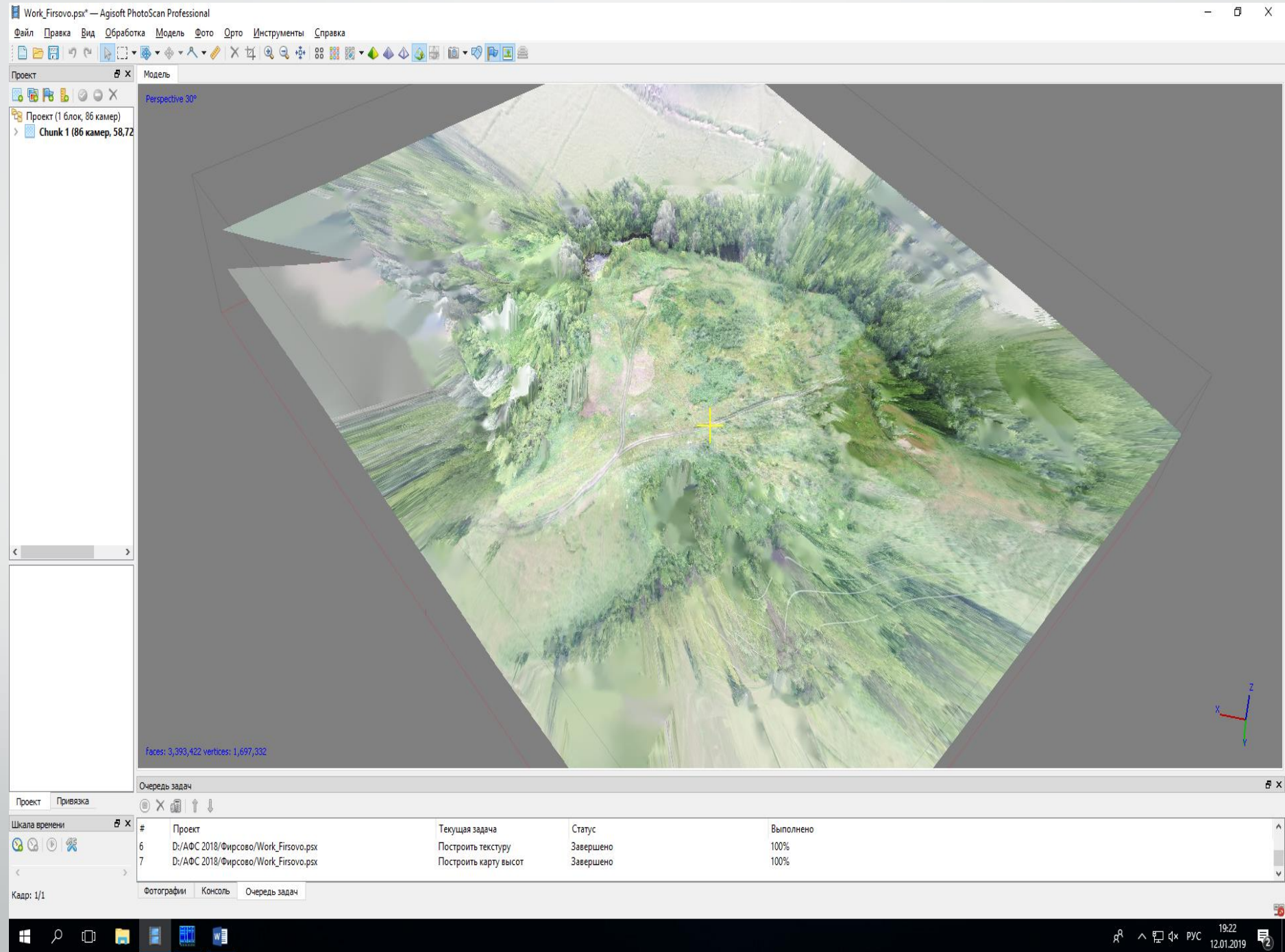


Ортофотоплан археологического памятника «Березовка-1,2 Курганная группа»
(Курган №1 расположен в поле)

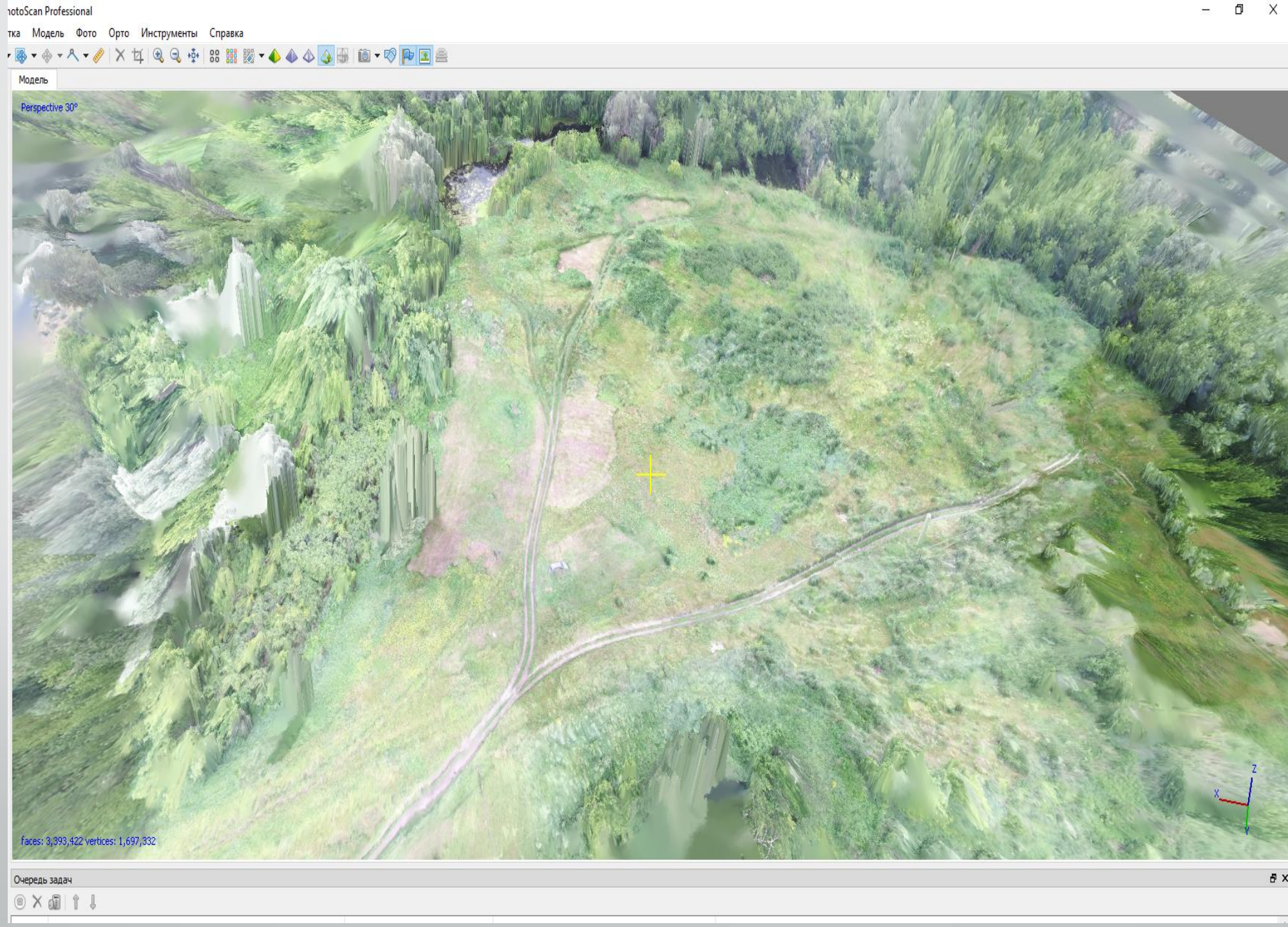


Съемка памятника «Фирсово-4» (ручной режим)

Тайловая модель
археологического
комплекса
«Фирсово-18»



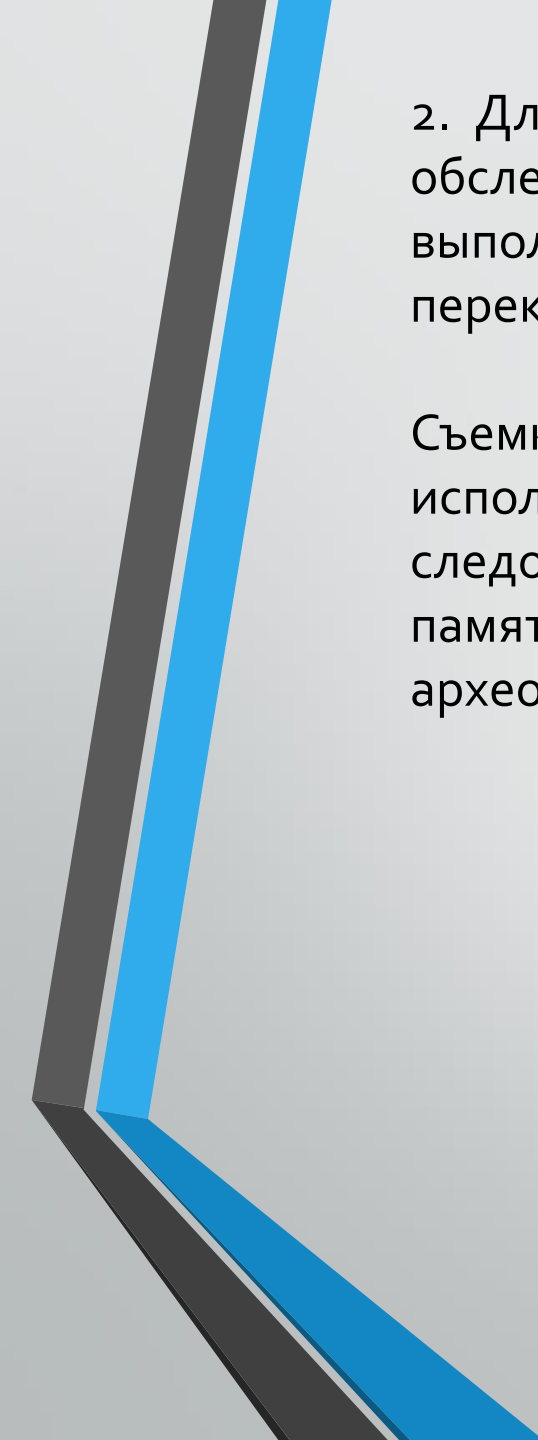
Комбинированная 3D-модель археологического комплекса «Фирсово-18»



ВЫВОДЫ:

1. При хороших погодных условиях и наличии достаточного (необходимого) количества сменных, но при этом заряженных аккумуляторов, следует рекомендовать маршрутную съемку. Построение маршрутов нужно производить заранее, продумывать и схематически и строить полетное задание, загрузив его в программу управления полетами. Таким образом, выбрав полетное задание и установив режим съемки, достаточно задать исходную точку и запустить дрон.

Мозаики, полученные на основе таких материалов получаются с высоким качеством разрешения и текстуры. Также следует отметить высокую надежность построения цифровых моделей рельефа, которые в комбинации с мозаикой и ортофотопланов дают четкие, высококачественные 3Д-модели.



2. Для получения снимков в целях фото- и видеофиксации памятников (как на этапе обследования, так и на этапах раскопок) стоит рекомендовать ручную съемку, выполняемую под углом не менее 5 градусов. Правильное планирование съемки с перекрытиями на заданной высоте также дает неплохие результаты.

Съемка в надир также дает высококачественные кадры, но при этом их нельзя использовать для построения трехмерных моделей и цифровых моделей рельефа, а следовательно – ортофотопланов. Такие снимки пригодны для фотофиксации раскопов и памятников на разных высотах (например, для получения обзорных снимках археологического комплекса).

3. Программы фотограмметрической обработки дают возможность убирать пробелы в зонах с плохим перекрытием.

Данная задача решается двумя способами:

- 1) интерполяцией на основе соседних снимков мозаики;
- 2) дополнительными выездами и дополнительной загрузкой новых данных в текущий проект (например, Фирсовский археологический микрорайон).

Синтез пакетов фотограмметрической и картографической обработки показывают результаты, ставшие альтернативой полевым геодезическим работам в классическом понимании. Здесь стоит заметить, что перед съемкой желательно установить маркеры и определить их координаты с высотами с помощью RTK-систем. Это позволит использовать систему опорных точек и размещать результаты обработки в заданной системе координат.

4. Особую ценность в исследованиях археологических памятников представляют продукты фотограмметрической обработки, такие как – цифровые модели рельефа (ЦМР) и ортофотопланы. Первые могут дать ценную информацию при обнаружении объектов небольших размеров или слабо проявляющих себя.

Например, для одного из исследованных курганов памятника «Березовка-1,2» расположенного на середине распаханного поля, никаких демаскирующих характеристик нет, однако на обработанной и классифицированной ЦМР он себя достаточно четко показал.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перспективой является расширение технологии беспилотной аэрофотосъемки с изменяемой полезной нагрузкой – приборы мультиспектральной съемки, аэромагнитометрии и др. Необходима не только технология съемки с этой нагрузкой, но и технология обработки с созданием высокоточных покрытий в разных спектральных диапазонах. Однако моментально перейти от обычной съемки к многозональной невозможно, только опираясь на полученный опыт и результаты можно двигаться вперед.