

станции, способные выполнять комплексное обслуживание без вмешательства человека. Эти технологии смогут значительно уменьшить время простоя аппаратов, увеличить их эффективность и снизить риски для человеческого фактора.

Также важным аспектом является развитие систем мониторинга состояния БПЛА в реальном времени, которые будут интегрированы непосредственно в бортовые системы дронов. Это позволит операторам и инженерам получать актуальную информацию о состоянии важнейших компонентов и систем, предотвращая потенциальные неисправности и аварии.

В заключение, обслуживание и техническое обеспечение беспилотных аппаратов является критически важной областью, требующей постоянного внимания и инвестиций в исследования и разработку. Принятие лучших практик и инновационных решений не только повысит надёжность и безопасность дронов, но и расширит возможности их использования, открывая перед человечеством новые горизонты в исследованиях, коммерции и повседневной жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. DJI Technology Co., Ltd. DJI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dji.com/ru/mobile>, свободный. – Яз. рус., англ. – Дата обращения: 21.03.2024.

2. Amazon Air [Электронный ресурс] // Wikipedia, свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Amazon_Air, свободный. – Яз. рус., англ. – Дата обращения: 21.03.2024.

УДК 902.03+910.27

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А.А. САЗОНОВ, П.С. КУРЛОВИЧ
Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Археологическая разведка (поиск) заключается в обнаружении и выявлении археологических памятников — остатков материальной культуры древних обществ [1], в частном случае военной археологии —

в поиске военных артефактов (вооружения, амуниции, техники), фортификационных сооружений и мест захоронений.

Поиск археологических памятников является важным этапом при проведении археологических исследований, предшествуя непосредственно раскопкам и камеральной обработке результатов.

Подходы к поиску памятников археологии обуславливаются возрастом памятника и его особенностями. В процессе поиска детально изучается конкретный участок местности и его характеристики: топография, водные объекты, ландшафты и динамика землепользования, для определения наиболее перспективных участков для проведения раскопок. Помимо традиционных методов, таких как сбор архивных данных, визуальный осмотр, сбор подъемного материала, могут быть использованы неинвазивные методы поиска [2].

С развитием геоинформационных технологий и распространением гражданских беспилотных летательных аппаратов (БЛА) инструментарий неинвазивных методов поиска значительно расширился. Широкое распространение сегодня имеют данные спутниковой и аэрофотосъемки, в том числе многозональные, воздушное лазерное сканирование (ВЛС), что позволяет выявлять памятники, трудноразличимые с земли. Перспективным направлением является использование тепловизионных камер для поиска погребенных объектов. Среди неинвазивных методов также необходимо отметить георадарную, геомагнитную и электроразведку, наземное лазерное сканирование и фотосъемку, геодезическую съемку. Для получения наиболее полного представления об историческом ландшафте указанные методы необходимо применять в комплексе.

Воздушное лазерное сканирование занимает особое место среди неинвазивных методов археологической разведки. Можно выделить ряд преимуществ использования ВЛС:

1. Скорость сбора данных и значительный площадной охват;
2. Возможность съемки труднодоступных участков местности;
3. Точность получаемых результатов.

Для целей археологической разведки использование БЛА для ВЛС в целом предпочтительнее пилотируемой авиации: БЛА не требуется аэродромная инфраструктура, применяется упрощенный порядок согласования полётов, низкая (до 100 м) высота полета позволяет получать более точные данные, также меньшее влияние оказывают метеорологические явления (облачность). Тем не менее, применение ВЛС на базе пилотируемых летательных аппаратов оправдано при значительном пространственном охвате исследования и для выявления потенциальных мест для детальных поисковых работ.

ВЛС по своим возможностям превосходит как аэро- и космосъемку, так и наземные методы поиска. Основное преимущество метода заключается в возможности получения цифровой модели местности (ЦММ) и цифровой модели рельефа (ЦМР) без влияния растительного покрова. Наибольший эффект достигается в труднопроходимых, удаленных районах, где человеку физически сложно проводить наземные изыскания.

По данным ВЛС возможно установить локализацию объектов, их форму и размеры, а также выявлять объекты, которые не видны невооруженным взглядом и не выделяются при топогеодезической съемке с мелким шагом [3].

Работы по ВЛС памятников археологии выполняются в Белорусском государственном университете с 2022 г. Обследовано более 20 различных объектов, в том числе городища, курганные могильники, фортификационные сооружения и укрепления, места массовых захоронений. Для выполнения ВЛС использовался лидар DJI Zenmuse L1 на базе БЛА DJI Matrice 300 RTK.

Опыт [4], в том числе зарубежный [3], показывает, что наиболее благоприятный период для выполнения работ – ранняя весна (март-апрель), когда травянистый покров еще не поднялся после схода снега, а у древесно-кустарниковой растительности не начался период вегетации. ВЛС также можно выполнять поздней осенью (конец октября – ноябрь), но не до конца опавшие листья на деревьях, лесной опад могут оказать негативный эффект на результаты съемки.

Основной показатель, на который необходимо ориентироваться при планировании работ – плотность облака точек, от этого будет зависеть качество итоговой ЦМР. Необходимо учитывать, что для построения ЦМР используются точки, классифицированные как земля (ground). Общая расчетная плотность облака должна составлять не менее 100-120 точек/м², при этом точки земли могут составлять 10-50% от общего количества [3], в зависимости от типа поверхности. В случае местности с плотной растительностью, густым подлеском, расчетная плотность точек должна быть выше – 130-150 точек/м².

Обеспечить необходимую плотность облака точек возможно с помощью регулировки высоты полета (от 50 до 100 м), скорости полета (от 5 до 10 м/с), количества регистрируемых отражений и частоты сканирования. Все параметры должны настраиваться в зависимости от условий местности и особенностей исследуемого объекта, а также возможностей используемого оборудования.

При поиске объектов археологии целесообразно первоначально обследовать местность «с запасом», чтобы выявить объекты, о существовании

которых заранее ничего не известно. На данном этапе важно охватить как можно больший участок местности с минимальным расходом заряда аккумуляторов, поэтому качеством съемки можно пренебречь. После выявления всех потенциальных участков, необходимо провести их повторное, детальное сканирование.

На качество результирующих облаков точек, ЦММ и ЦМР, а также на возможность картографирования археологических объектов оказывают влияние три фактора: состояние собственно объекта археологии, погодные условия, ландшафтные условия.

Состояние археологических объектов зависит от возраста памятника, естественных и антропогенных процессов. Лесная растительность и труднодоступность местоположения объекта повышает вероятность его сохранности и возможности выявить с помощью ВЛС, и наоборот – объект, к примеру, расположенный на активно обрабатываемых пахотных землях, будет выявить сложнее.

Метеорологические явления, такие как дождь, снег, туман, будут оказывать негативное воздействие на облако точек, повышая уровень шума. Наличие воды, снега на земной поверхности также может негативно сказаться на результатах съемки.

Влияние ландшафтных условий в первую очередь заключается в характере растительного покрова и стадии вегетации. Как было отмечено ранее, ВЛС лучше всего проводить до начала вегетационного периода. Наилучшие результаты можно получить на безлесной местности, со слабым травянистым покровом. Если участок покрыт лесной растительностью, то лучшие результаты ВЛС демонстрирует в сосновых лесах с неразвитым подлеском, худшие – в смешанных, лиственных лесах, с густым подлеском. Плотная кустарниковая, травянистая растительность, посевы сельскохозяйственных культур оказывают крайне негативное влияние на результаты ВЛС.

Для верификации результатов разведки с использованием ВЛС необходимо проведение комплекса наземных неинвазивных изысканий – полевых визуальных разведок, геофизических методов и т.д. [3].

Отметим, что ВЛС позволяет выявлять только объекты, проявляющиеся в ландшафте и не перекрытые зданиями, другими объектами местности [3]. Пространство между точками заполняется методами триангуляции, интерполяции или вручную.

При анализе ЦМР и для выявления скрытых объектов необходимо применение методов геоморфометрии, в первую очередь метода отмычки рельефа [5]. Для антропогенно-преобразованных территорий дополнительно могут использоваться ЦМР, полученные фотограмметрическим путем по архивным аэрофотоснимкам [5].

Таким образом, ВЛС для археологической разведки должно проводиться с учетом природных условий, особенностей археологического объекта и технических возможностей оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдусин, Д.А. Археологические разведки и раскопки / Д.А. Авдусин. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1959. – 314 с.
2. Аржанов, А.Ю. Комплексный подход к методике археологических разведок на примере работ отдела междисциплинарных исследований государственного музея-заповедника «Херсонес Таврический» / А.Ю. Аржанов, А.А. Кучинин, В.В. Панченко // Новые материалы и методы археологического исследования: От критики источника к обобщению и интерпретации данных. Материалы V Международной конференции молодых ученых. – Москва: ИА РАН, 2019. – С. 224-225.
3. Новиков, В.В. Воздушное лазерное сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в европейской части России / В.В. Новиков // Поволжская Археология. – 2022, № 1 (39). – С. 246.
4. Сазонов, А.А. Применение воздушного лазерного сканирования в археологических исследованиях на территории Беларуси / А.А. Сазонов [и др.] // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. – Минск: БГУ, 2022. – С. 283-287.
5. Флоринский, И.В. Геоморфометрия сегодня / И. В. Флоринский // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 394-447.

УДК. 550.8.014

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

П.В. ШАБЛЫКО, А.К. ХИБИЕВ, Н.В. КОЗЛОВСКИЙ

Институт природопользования НАН Беларуси

Минск, Беларусь

В рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на территории Вечерне-горской площади Восточная Антарктида Институтом природопользования