

Паршин А.В. (ООО «Геоинформационные технологии», ИГХ СО РАН, ИРНТУ), Цирель В.С. (АО «Геологоразведка»), Анцев В.Г. (АО «НПП «Радар ммс»)

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРО-ГЕОФИЗИКИ В РОССИИ

*Анализируется современное состояние рынка беспилотных систем геологического назначения. Рассматриваются основные варианты беспилотных геофизических технологий и их применимость при решении актуальных задач на современном этапе геологической деятельности в России. Приведены результаты, полученные с использованием разработанных авторами комплексов мультироторного и вертолетного типов, в сопоставлении с данными традиционных съемок. Обоснована возможность замещения мультироторными технологиями значительной доли традиционных крупномасштабных пешеходных работ, а вертолетными — как пешеходных, так и различных аэрогеофизических съемок. **Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дистанционное зондирование Земли, аэрогеофизика, геологоразведка, беспилотные технологии, магниторазведка.*

Parshin A.V. (SibGIS LLC, Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk National Research Technical University), Tsirel V.S. (Geologorazvedka), Antsev V.G. (Radar mms)

PRESENT AND FUTURE OF UNMANNED AEROGEOPHYSICS IN RUSSIA

*The current state of the market of unmanned geological systems is analyzed. The main variants of unmanned geophysical technologies and their applicability in solving urgent problems at the present stage of geological activity in Russia are considered. The results obtained by the UAS complexes of multi-rotor and helicopter types developed by the authors are presented, in conjunction with the data of traditional surveys. The possibility of replacing a large proportion of traditional large-scale pedestrian work with a multi-rotor technology, and helicopter ones, both pedestrian and various aerogeophysical surveys, is substantiated. **Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAV), remote sensing, aerogeophysics, geological prospecting, unmanned technologies, magnetic prospecting.*

В настоящее время фонд легко открываемых месторождений России в основном исчерпан, и перспективы расширения минерально-сырьевой базы связаны с исследованиями удаленных от существующей инфраструктуры и зачастую труднодоступных объектов, локализованных в недостаточно изученных районах Восточной Сибири, Якутии, Дальнего и Северо-Востока, характеризующихся сложными природно-ландшафтными

условиями: заболоченностью, курумами, сильно пересеченным рельефом и т.п. Эти факторы затрудняют и удорожают постановку традиционных наземных вариантов исследований (в частности геофизических), а также и классической аэрогеофизической съемки, которая к тому же не всегда обеспечивает необходимую детальность в условиях сложного рельефа [4]. При этом современная ситуация в геологической отрасли характеризуется снижением бюджетных ассигнований на геологическое изучение территорий, ориентировкой вектора развития на замещение объемов государственной геологоразведки частными инвестициями за счет предоставления возможности получения организациями реального сектора экономики «пионерских» лицензий на слабоизученные лицензионные участки. Увеличение доли частного капитала предполагает актуальность разработки новых подходов, позволяющих существенно сократить затраты и повысить оперативность исследования и перспективной оценки указанных площадей, возрастает роль «легких» методов поисков и разведки МПИ. Передача затрат на ГРП в область ответственности организаций реального сектора экономики дополнительно повышает требования к экономической эффективности и оперативности выполнения поисковых работ.

При этом современный уровень геологоразведки требует разработки технологий, позволяющих исследовать сложно проходимые и удаленные районы не только быстро и дешево, но и с высокой детальностью уже на первых стадиях ГРП, причем само понятие «стадийности» в таких случаях претерпевает существенные изменения. При этом слабоизученные территории должны быть исследованы таким комплексом методов, который позволил бы обоснованно и с различных сторон охарактеризовать геологическую обстановку, выделить перспективные участки, на которых в дальнейшем будут выполнены более детальные и дорогостоящие наземные работы. По мнению авторов, в такой постановке проблемы наиболее универсальными методами геофизической разведки можно считать магниторазведку и гамма-спектрометрию, которые целесообразно дополнить технологиями получения точной цифровой модели рельефа (что позволит более обоснованно решать обратные задачи геофизики), а также мульти- или гиперспектральной съемкой, аналогичной спутниковой.

В настоящее время в мире быстро развиваются технологии использования беспилотных летательных аппаратов, которые могут позволить без риска для экипажа выполнять съемку на более низких, чем в традиционной аэрогеофизике, высотах, что увеличивает детальность беспилотной геофизической съемки по сравнению с классическим аэровариантом — с одной стороны, и сокращает объем наземной съемки — с другой. Имея определенный опыт изучения, создания

Потребительские качества различных типов беспилотных носителей

| Параметры | Самолет | Вертолет | Мультикоптер |
|-------------------------------|---|---|--|
| Стоимость | Высокая | Высокая | Разная |
| Время полета | Большое | Среднее | Небольшое |
| Полезная нагрузка | Относительно небольшая | Большая | Средняя |
| Арсенал полезных нагрузок | Небольшой | Большой | Большой |
| Условия взлета-посадки | Сложные (полоса или катапульта) | Простые | Очень простые |
| Скорость полета | Высокая | Различная (включая зависание) | Различная (включая зависание) |
| Высота полета | Относительно большая | Средняя | Малая — средняя |
| Маневренность | Низкая | Средняя | Высокая |
| Основные виды помех | Магнитные, вибрационные, ориентационные | Магнитные, вибрационные, ориентационные | Магнитные, вибрационные |
| Выводы по областям применения | Замена традиционной аэроэлектро-разведки и фотосъемки | Широкий диапазон возможностей | Отличная замена детальных (наземных) работ |

и эксплуатации технологий такого рода, авторы хотели бы представить свое видение того, как БПЛА-технологии изменят привычную структуру геолого-поисковых и разведочных работ, обосновав, возможно, дискуссионные выводы приведенными ниже результатами применения созданных беспилотных комплексов.

Методы и технологии

Известны три основных типа беспилотных летательных аппаратов: самолеты, вертолеты и мультикоптеры, причем каждая схема характеризуется своими достоинствами и недостатками применительно к решению различных геологических задач, а также разными уровнями и видами помех, влияющими на выполнение съемки (таблица).

Самолетные комплексы

Первыми в мировой практике появились магнито-разведочные комплексы — геологически наиболее универсальные [5]. Самолетные варианты БПЛА-геофизики (исключительно в варианте метода магнито-разведки) хорошо известны с 2012 г. Первые канадские магнито-разведочные комплексы GeoSurv II и Venturer на базе достаточно больших беспилотных самолетов по сути являются аналогом классической аэромагнито-разведки, но обладают существенно большей экономической эффективностью за счет снижения затрат на летные часы по сравнению с «большой авиацией», а также требуют значительно меньшей взлетной полосы и могут быть доставлены к району работ грузовым транспортом. Учитывая опыт зарубежных съемок, можно с уверенностью утверждать, что



Рис. 1. Опытный образец БПЛА-самолета и магнитометра (слева) [9]

эффективность таких комплексов в России будет весьма высока, например, при выполнении магниторазведочных работ в районах Якутии, перспективных на поиски алмазов или углеводородного сырья.

Основным достоинством беспилотной самолетной съемки является большое время полета и соответственно возможность исследовать значительные площади с одной точки взлета. К основным недостаткам относится невозможность полета на низких скоростях с детальным обтеканием рельефа по геометрически правильным профилям, а также необходимость подготовки площадок для взлета и посадки. Важной проблемой дальнейшего развития самолетной схемы является необходимость реализации других геофизических методов, требуемых для комплексного исследования территории. Так, эффективная технология гамма-спектрометрии в БПЛА-самолетном варианте с использованием обычно применяемых блоков детектирования представляется невозможной.

Разработка БПЛА-самолетного варианта технологии аэромагнито-разведки получила в России государственную поддержку в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Работы по проекту проводились Государственным геологическим музеем им. В.И. Вернадского и Группой компаний «Геоскан» (рис. 1), [9].

Отсутствие опубликованных результатов производственного опробования не позволяет сделать вывод о степени успешности развития этого направления в России. Однако очевидно, что несмотря на высокие перспективы БПЛА-самолетного варианта [8] отечественные технологии отстают от мирового уровня.

Вертолетные комплексы

Комплексы для вертолетной съемки так же, как и самолетные, характеризуются достаточно длительным временем полета, обеспечивая при этом высокую грузоподъемность, точное пилотирование и возможность зависания над заданной точкой. Сведений о наличии в зарубежной практике геологических технологий такого рода авторам найти не удалось, что, по всей видимости, связано с большими затратами, высокой сложностью создания и эксплуатацией БПЛА-вертолетов в тяжелых условиях геологических экспедиций. Российская тех-

нология в этой области опережает мировую: с 2015 г. успешно, хотя и в инициативном порядке, ведутся разработки АО «НПП «Радар ммс». Для выполнения аэромагнитной съемки специалистами компании создан комплекс, включающий беспилотный летательный аппарат вертолетного типа и бортовую магнитометрическую систему [1]. В настоящее время завершены первые опытно-методические работы; следующим этапом является производственная апробация.

Данный комплекс основан на принципах «открытой архитектуры», что позволяет формировать линейку полезной нагрузки для решения различных задач. Вертолет оснащен двигателем внутреннего сгорания и обеспечивает достижение следующих основных летно-технических характеристик: грузоподъемность до 10 кг, время полета до 2 ч (рис. 2 А, В). При крейсерской скорости от 40 до 60 км/ч может быть заснята достаточно значительная площадь. Высота съемки может составлять от 20 до 40 м, возможно также обтекание рельефа, в том числе среднегорного.

В качестве полезной нагрузки в данном комплексе применяются магнитометрические системы собственной разработки. Причем измерения модуля полного вектора геомагнитного поля выполняются четырехкамерным квантовым магнитометром, а феррозондовый магнитометр используется для получения сведений о магнитных помехах носителя, которые затем устраняются программным путем. В состав разрабатываемого комплекса наряду с магнитометрической аппаратурой планируется включить гамма-спектрометрическую.

В ближайшее время начнется их совместная производственная апробация. На очереди разработка беспилотной вертолетной аэроэлектроразведки вариацией метода МПП.

На рис. 2 С, D представлены результаты магнитной съемки на опытном полигоне Луга, где ранее была выполнена наземная пешеходная съемка. Высота полета составляла 40 м, скорость 50 км/ч, частота повторения измерений 1000 Гц. Представленные схемы магнитного поля по данным наземной и вертолетной съемки вполне схожи. Результаты наземных измерений естественно характеризуются несколько большей детальностью. При этом можно утверждать, что разработанный подход к организации магнитометрической системы обеспечивает получение данных высокого качества. Несмотря на то что амплитуда аномалии поля на данном участке не превышает 20 нТл, в данных вертолетной съемки совершенно не проявляются магнитные помехи носителя. Авторы считают, что данная система уже на существующем уровне развития может быть использована в практике геологических работ, в том числе как замена традиционных аэросъемок на не очень больших площадях.

Мультироторные комплексы

Относительно слабо разработанной в мировой практике является технология мультироторных геофизических БПЛА, которые характеризуются наименьшей стоимостью создания и обслуживания, максимальной точностью пилотирования, но меньшим по сравнению с БПЛА-самолетами и БПЛА-вертолетами временем полета. Известны только две зарубежные разработки недавнего времени: SkyLance [10] и UAV-MAG [12], имеющие опять же исключительно магниторазведочный характер. Первый упомянутый комплекс, по всей видимости, еще не прошел сколько-нибудь значительной апробации. Результаты, полученные вторым комплексом, существенно уступают по точности и детальности наземным съемкам [12], поскольку, во-первых, съемка производится на доступной для традиционных аэросъемок высоте 45 м, во-вторых, используется стандартный БПЛА, не адаптированный для повышения точности и правильности магнитометрической съемки. Единственной проблемой прецизионных измерений разработчики считают помехи от моторов и не применяют аппаратных решений для снижения прочих значимых помех. При этом отмечается хорошая сходимость с классической аэросъемкой, в связи с чем можно считать что данная технология эффективно заменяет традиционную аэросъемку при выполнении работ на небольших площадях (до 2000 км), собственно как ее и позиционирует производитель. Стоимость съемки оценена в 100 \$ на 1 км.

Можно с уверенностью утверждать, что отечественный уровень развития мультироторных комплексов не отстает от мирового. Во всяком случае, не позже зарубежных в России уже появились, по крайней мере, две разработки такого рода: магниторазведочная технология коллектива ИНГГ СО РАН [7] и комплекс SibGIS UAS (далее SGUAS), включающий на данный момент техно-

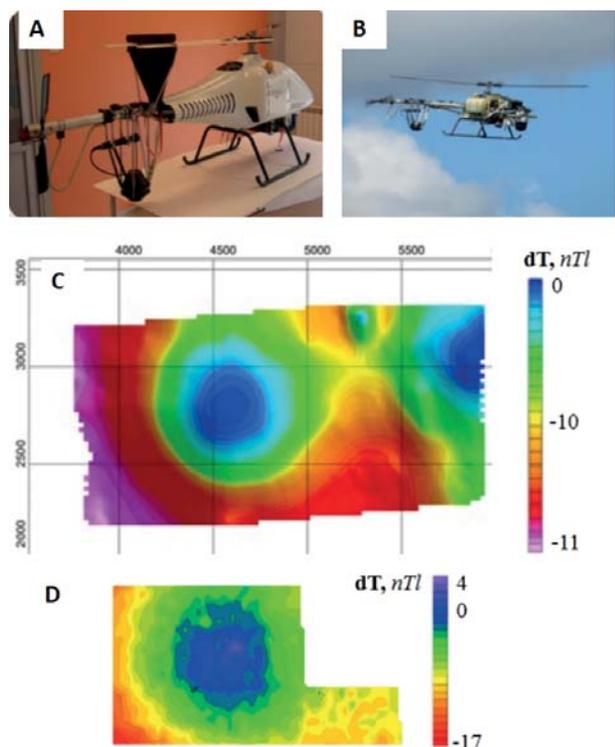


Рис. 2. БПЛА — вертолетный аэромагнитный комплекс и результаты съемки на полигоне «Луга»: А — вертолет с магнитометром на стенде; В — вертолет с магнитометром в полете; С — вертолетная съемка; D — наземная пешеходная съемка



Рис. 3. Магниторазведочные БПЛА: А — ИНГГ СО РАН, Новосибирск (по материалам семинара им. Вахромеева, [2]); Б — из состава комплекса SibGIS UAS, Иркутск

логии магниторазведки, гамма-спектрометрии, мульти-спектральной съемки и фотограмметрии [3, 4, 11]. По имеющимся данным коллективом ИНГГ СО РАН была разработана и представлена магниторазведочная технология, реализованная на базе мультикоптера (рис. 3 А).

Отличительной особенностью этого решения является использование сверхлегкого БПЛА и феррозондового магнитометра, обеспечивающего высокую частоту измерений — до 100 Гц, что, по мнению создателей, позволяет выделить самые мелкие детали геологического строения изучаемой территории. Авторы не вполне согласны с данной позицией. Убедительных доказательств того, что столь высокочастотные измерения, выполненные на высоте в десятки метров над землей, действительно содержат в себе значимые геологические данные, не фиксируемые при традиционных частотах измерений, в рецензируемой литературе пока не представлено, а многократно докладываемые в обоснование этого тезиса результаты съемок на трубках взрыва [3] произведены не с борта БПЛА, а с земли. Поэтому они не соответствуют реальному режиму съемки ни по удалению от источника аномалии, ни по скорости движения, ни по уровню влияния на датчик помех носителя и режима съемки. Кроме того, не оценена сходимость с контрольными измерениями, которая в определенной степени показала бы, являются фиксируемые значения полезным с геологических позиций сигналом, или же просто шумом (при этом необходимо учитывать относительный характер измерений феррозондовым прибором). Натурное сравнение результатов, полученных данным комплексом, по сравнению с квантовым каналом комплекса SGUAS, проведенное по итогам всероссийского семинара «Современные технологии в рудной и нефтяной геологоразведке», также не показало сколько-нибудь очевидного повышения детальности (рис. 4), [2]. Реальная детальность ин-

формационно-картографического продукта в результате съемки обоими системами примерно аналогична, даже несмотря на то что упомянутые работы имели чисто демонстрационный характер и весьма слабо отвечают задачам реальной геологии. Съемка выполнялась в закрытой от ветра долине над ровным полем на высоте первых метров над землей по профилям с расстоянием в 3–4 м, а аномальными объектами выступали не геологически значимые природные структуры, а мелкие техногенные объекты — древние предметы железорудного производства.

Тем не менее, если тезис о повышении реальной точности фиксации геологической обстановки за счет выполнения высокочастотных измерений имеет, по мнению авторов, дискуссионный характер, то по вопросу принципиальной работоспособности описываемого комплекса ИНГГ СО РАН нет никаких сомнений. Кроме того, на данный момент это, безусловно, самый легкий и компактный БПЛА-магниторазведочный комплекс в мире, что обеспечивает определенные преимущества при выполнении съемок в самых крупных масштабах (от 1:1000 и крупнее), но создает очевидные трудности при выполнении работ в сложных природных и погодных условиях.

Второй уже упомянутый отечественный комплекс на базе БПЛА мультироторной схемы — SibGIS UAS, также был разработан в инициативном порядке и изначально создавался как замена традиционных крупномасштабных наземных съемок масштаба 1:10 000 и крупнее в самых сложных ландшафтных, природных и экспедиционных условиях [3, 11]. Будучи ориентирован на выполнение съемки на самых низких высотах и в условиях сложного рельефа, на участках, не

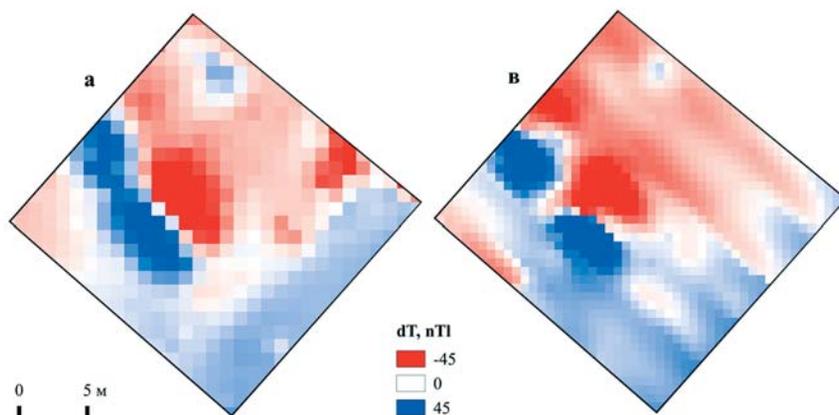


Рис. 4. Сопоставление результатов съемки комплексами SibGIS UAS (а) и ИНГГ СО РАН (в) [7] на археологическом полигоне базы геологических практик «Черноруд» (представлены данные «in situ», полученные в рамках открытых демонстраций на семинаре «Современные технологии в рудной и нефтяной геологоразведке» [2]

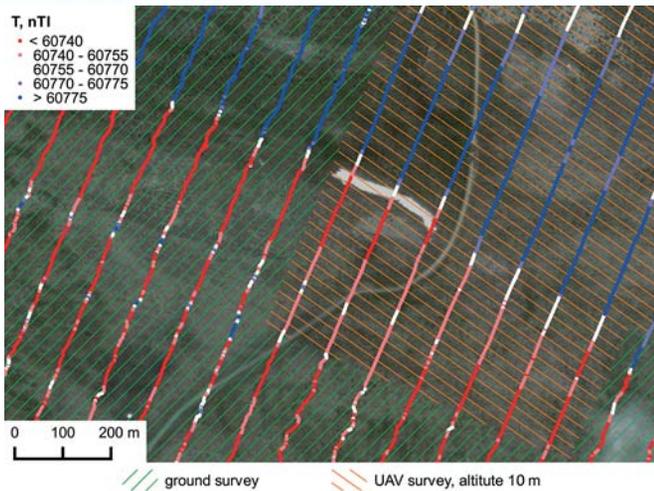


Рис. 5. Сопоставление результатов наземной и БПЛА-съемки на участке Аунакитский

покрытых точной топографической съемкой, он включает не только БПЛА с геофизическими сенсорами, но и технологии, обеспечивающие моделирование рельефа. В качестве магнитометрического канала применен квантовый магнитометр с АЦП, аналогичным OEM-магнитометру POS производства лаборатории квантовой магнитометрии УрФУ (зав. лаборатории В.А. Сапунов), но с усовершенствованным датчиком и системой сбора и управления. В настоящее время СКО съемки масштаба 1:10 000, выполненной без RTK, находится в пределах 2 нТл, а реально позволяет выделять и проследить аномалии магнитного поля в 3–4 нТл [4]. Точное моделирование местности с помощью фотограмметрии позволило значительно снизить высоту измерений (до 5 м над растительностью), а съемка в режиме обтекания рельефа, применение БПЛА специальной конструкции с пониженным уровнем помех, наличие системы RTK — кинематики реального времени, обеспечивающей высокоточное выполнение полетного задания и привязку точек съемки, в совокупности позволили достичь качества данных, не уступающего крупномасштабной наземной съемке, даже в условиях сложной проходимости рельефа (рис. 5).

На рис. 5 приведены результаты беспилотной съемки на одном из участков в горных районах Бодайбинского синклинория в сопоставлении с результатами наземной съемки. Очевидно, что БПЛА-измерения фиксируют в точности ту же картину, что и наземная съемка. Небольшие дайковые тела проявляются и в наземной, и в БПЛА-съемке. Затухание аномалии в центральной части участка, по всей видимости, объективно, а не просто вызвано большей высотой съемки, так как амплитуда аномалии снижается от профиля к профилю. Фиксируемые геологические границы практически не смещены даже без пересчета поля по высоте.

На рис. 6 представлены результаты съемки, выполненной на участке (в отличие от

предыдущего), заросшем не только кедровым стлаником, но и деревьями, и кустарниками большей высоты, в связи с чем высота измерений составила 20 м. Заметна высокая дисперсия данных наземной съемки, вызванная тем, что пешеходные измерения в условиях площадей, густо заросших кустарником, выполняемые без рубки профилей, сопряжены с постоянными рывками и ударами веток по датчику и постоянными колебаниями его высоты, происходящими вследствие того, что оператор перелезает через ветки или наоборот подлезает под них. Это приводит к тому, что сходимость между рядовым и контрольным наземным маршрутом ниже, чем между каждым из них и данными БПЛА-съемки. Очевидно, что в современной структуре ГРП на слабоизученных площадях магниторазведка играет роль дешевого и экспрессного метода, что несовместимо с рубкой профилей и топогеодезическими работами по разбивке и высокоточной привязке сетей измерений. Общая зональность поля аналогична как на качественном, так и на количественном уровнях: и наземной, и БПЛА-съемкой на участке выделяется отрицательная аномалия амплитудой до 20 нТл, а также фиксируется тренд к понижению поля в западной части.

За счет высокой надежности и низкой себестоимости аэромобильной части комплекса SGUAS и повышения производительности съемки стоимость работ удалось снизить в 1,5–2,5 раза по сравнению с традиционной наземной съемкой того же масштаба. В настоящее время стоимость магниторазведки составляет около 40 \$ на 1 км, включая базовую обработку данных. Для сравнения сметная стоимость пешеходной магниторазведки в тех же условиях составляет 85 \$ на 1 км, а стоимость съемки канадским БПЛА-комплексом MAG TM — 100 \$ на 1 км). Стоимость гамма-спектрометрической съемки оценивается в 60 \$ на 1 км, однако методика ее проведения и характер получаемых результатов несколько отличаются от наземного варианта и являются предметом отдельной публикации, в связи с чем напрямую сравнивать их стоимость не представляется корректным. Кроме существенного снижения стоимости

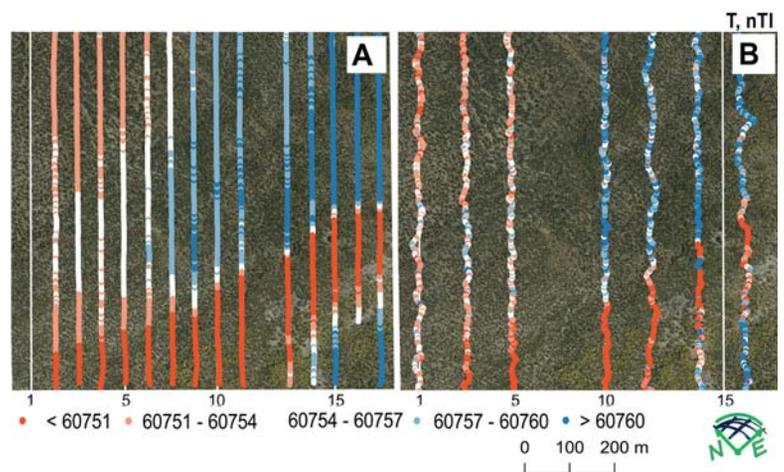


Рис. 6. Сопоставление результатов наземной (B) и БПЛА-съемки (A). Высота сенсора 20 м

работ достигается также и кратное повышение производительности. Эффективная скорость полета в условиях среднегорного рельефа при выполнении магниторазведочной съемки с 2014 г. до настоящего времени повышалась с 3–5 до 8–12 м/с. Время полета в реальных условиях составляет около получаса, в связи с чем с одной точки взлета наиболее целесообразно выполнять съемку площадей до первых десятков квадратных километров. После съемки такого участка место взлета меняется. Созданный комплекс применяется в широком диапазоне условий внешней среды, в том числе при отрицательных температурах и легкой метели. В настоящее время комплекс успешно используется при выполнении работ в интересах организации реального сектора экономики в первую очередь при работах на рудное и россыпное золото в горных районах Иркутской области, Бурятии и Забайкалья, которые крайне тяжело, а зачастую невозможно эффективно исследовать пешеходным способом. Кроме магниторазведки в состав комплекса SibGIS UAS входит гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла CsI, технология фотограмметрии, мультиспектральная фотографическая съемка. Готовится к производственной апробации экономичная технология лидарного сканирования. Представленные результаты, полученные комплексом SibGIS UAS, убедительно доказывают принципиальную возможность замещения мультироторными технологиями значительных объемов традиционной наземной геофизической съемки при выполнении поисково-оценочных работ масштабов 1:10 000 — 1:1 000.

Заключение

Все три варианта беспилотных аэрогеофизических технологий (самолетная, вертолетная, мультироторная) являются востребованными российским рынком, что подтверждается большим интересом и имеющимися заказами от организаций реального сектора экономики, в том числе малого бизнеса и небольших научных групп, которым традиционные аэрометоды ранее были недоступны. Такие группы заказчиков получают инструмент, позволяющий быстро и без больших затрат исследовать участки территорий, которые невозможно изучить пешеходной съемкой.

Комплексы на базе беспилотных самолетов могут во многих случаях заместить классическую аэромагнитную съемку с повышением экономической эффективности (по оценкам зарубежных исследователей в 5 раз). Эта технология могла бы войти в арсенал крупных сервисных предприятий, выполняющих госзаказ, в том числе АО «ГНПП «Аэрогеофизика». Основным геолого-геофизическим следствием преимуществ беспилотной съемки по сравнению со съемкой с пилотируемых носителей является возможность проведения всего комплекса детализационных съемочных работ на поисково-разведочной стадии при использовании беспилотной аэрогеофизики. Нам видится будущий вариант стадийности поисково-разведочных работ на ТПИ при внедрении беспилотной аэрогеофизики с полным отсутствием наземной геофизики и сокращением объема буровых работ.

При проведении крупномасштабных съемок (масштабы от 1:1 000 до 1:10 000) особенно в условиях сложного рельефа наиболее эффективным вариантом является мультироторный, который можно считать перспективной заменой наземных геофизических съемок (магниторазведки и гамма-спектрометрии), а также и аэросъемок на площадях до первых сотен квадратных километров, т.е. при выполнении работ на отдельных лицензионных участках, когда затраты на «большую авиацию» не нивелируются ее потенциально более низкой стоимостью. Основным преимуществом мультироторных комплексов по сравнению с БПЛА-самолетными и БПЛА-вертолетными является возможность выполнения высокодетальной съемки с точным обтеканием рельефа. Повышение экономической эффективности и оперативности выполнения работ особенно существенно по сравнению с традиционной наземной съемкой.

Вертолетные системы по сравнению с коптерами более уязвимы и имеют большую себестоимость, что предполагает несколько большие высоты полета и соответственно несколько меньшие масштабы съемок, что при съемках небольших площадей делает их менее рентабельными. Целесообразность применения мультироторов и вертолетов, по мнению авторов, ограничивается масштабом работ 1:10 000 и размером лицензионных участков от 100 км², а также зависит от сложности рельефа, характера растительности, возможности приблизиться к месту съемки. Важнейшим достоинством вертолетной схемы можно считать возможность реализации технологии беспилотной электроразведки по методу МПП, которая в варианте мультикоптеров является недостаточно эффективной, в частности из-за малого времени полета аппаратов такого типа. Существенно большее полетное время вертолетов с двигателем внутреннего сгорания по сравнению с мультикоптерами позволяет считать БПЛА-вертолетный вариант перспективной заменой классической вертолетной и самолетной аэрогеофизики. При этом БПЛА-вертолетная съемка может являться заменой и наземной съемки в масштабах от 1:10 000 и мельче. Компанией «Радар ммс» создан БПЛА-вертолет с полезной нагрузкой до 200 кг и временем полета до 8 ч, который тем не менее можно доставить в район работ на автомобиле высокой проходимости типа «Урал».

Можно констатировать, что в области мультироторных и вертолетных технологий российский уровень и опыт превосходит зарубежный. БПЛА-технологий геологического назначения, отличных от магниторазведочной, в зарубежной практике пока не разработано. Обращает на себя внимание разница в подходах: в то время как за рубежом компании, по-видимому, стремятся создать один геофизический метод и зарабатывать на услугах тематических съемок, авторы считают необходимым реализовать комплекс дополняющих методов, позволяющий получать прибыль при решении геологической задачи в целом. Интерес российских заказчиков лежит не в области получения отдельных геофизических карт, на анализ которых потребу-

ется дополнительное время и ресурсы, а в быстром получении набора разнородных детально закартированных характеристик геологической обстановки с последующим установлением зависимости между ними и признаками полезного компонента (в первую очередь с применением экспрессных геохимических методов или информации по участкам-аналогам), что позволяет за счет быстрых и дешевых БПЛА-методов получить детальную и комплексную информацию о ранжировании изучаемой площади по степени ресурсной перспективности с выделением локальных участков, на которых целесообразно сосредоточить дорогостоящие наземные работы вплоть до бурения, не тратя времени и средств на изучение всей территории.

Таким образом, несмотря на то что в настоящее время беспилотные технологии еще не заняли в России сколько-нибудь значимой доли рынка, авторы выражают уверенность в том, что полученные результаты свидетельствуют о возможности замещения существенной доли как наземных работ, так и классических аэросъемок беспилотными технологиями. Беспилотные геолого-геофизические методы следует рассматривать как реальный инструмент повышения эффективности геологических исследований. Значительным препятствием на пути повсеместного внедрения таких методов в практику геологической деятельности является слабо разработанная нормативная база применения БПЛА в России. Несмотря на это, авторы уверены, что беспилотные технологии уже в ближайшие годы существенно изменят отечественный рынок геологоразведки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анцев, В.Г. Применение магнитометрических систем на борту беспилотного летательного аппарата вертолетного типа для поиска и обнаружения магнитных аномалий / В.Г. Анцев, А.И. Маслова // Современные технологии в рудной и нефтяной геологоразведке, Шара-Тогот, 2016: <http://gis293.wixsite.com/vahromeev>.
2. Итоговое сравнение результатов беспилотных магнитометрических съемок комплексами ИНГГ СО РАН и ИРИНТУ-СибГеоТех // Матер. IV всерос. семинара им. Вахромеева «Современные технологии в рудной и нефтяной геологоразведке» // Шара-Тогот, 2016. тх (доступ на 07.04.2017)
3. Паршин, А.В. Экономичная технология беспилотной магниторазведки и ее апробация на рудопроявлениях Приольхонья / А.В. Паршин // Новое в познании процессов рудообразования. М.: ИГЕМ РАН, 2015. — С. 165–168.
4. Паршин, А.В. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях / А.В. Паршин, А.Е. Будяк, А.В. Блинов // География и природные ресурсы. Ч. 1. — М., 2016. — № 6. — С. 144–149. — Ч. 2. — С. 150–155.
5. Семенова, М.П. Перспективы развития беспилотной аэрогеофизики / М.П. Семенова, В.С. Цирель // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 8. — С. 34–39.
6. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2030 года. / Проект. — М., 2016. — 27 с.
7. Фирсов, А.П. Применение высокочастотного магнитометра для легких БПЛА при геолого-геофизическом изучении трубков взрыва / А.П. Фирсов, И.Н. Злыгостев, П.Г. Дядьков и др. / Матер. конф. Интерэкспо-ГеоСибирь. — Новосибирск, 2015. — С. 299–304.
8. Цирель, В.С. Аэромагнитные съемки с беспилотных носителей — работы за рубежом и в России / В.С. Цирель, А.В. Титова, Е.В. Лавникова // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород / Матер. междунар. школы-семинара / — СПб.: ИФЗ РАН, СПбГУ, 2016. — С. 154–160.
9. Черкасов, С.В. Использование БЛА для решения геологических задач. Аэромагнитная съемка / С.В. Черкасов, Б.В. Стерлигов, А.Е. Семенов // Матер. семинара «Применение технологии Геоскан для дистанционного зондирования земли и мониторинга объектов»,

2016. Электронный ресурс: <https://files.geoscan.aero/public/seminar/Cherkasov.pdf>.

10. Cunningham, M. Aeromagnetic surveying with unmanned aircraft systems / A thesis of Master of Science Diss / M. Cunningham — Canada, Ontario, 2016. — 144 p.

11. Parshin, A.V. Cost-saving low-altitude UAV magnetic survey technology and its GIS software / A.V. Parshin, V.S. Kanaikin, A.V. Blinov, A.O. Mikhalev // EAGE Geoinformatics. — 2016.

12. Pioneer Aerial Surveys UAV-MAG. The leader in Unmanned Geophysics Surveying / http://pioneerairialsurveys.com/Pioneer_Aerial_Surveys_Promo_2017.pdf (доступ на 07.04.2017)

© Паршин А.В., Цирель В.С., Анцев В.Г., 2017

Паршин Александр Вадимович // sarhin@geo.istu.edu
Цирель Вадим Соломонович // info@geolraz.com
Анцев Василий Георгиевич // ancev_vg@radar-mms.com

УДК 550.837

Давыдов В.А., Байдилов С.В., Астафьев П.Ф. (Институт геофизики УрО РАН им. Ю.П. Булашевича)

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ИНДУКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ НА ПРИМЕРЕ ЧУСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Проведено изучение электромагнитных параметров верхней части разреза над рудным телом Чусовского медно-колчеданного месторождения с помощью индукционной электроразведки. Различными методами выполнены профильные и площадные исследования электропроводности и частотной дисперсии рудной зоны месторождения. Проведенные работы показали принципиальную возможность обнаружения не выходящих на поверхность «слепых» колчеданных руд с помощью малоглубинных индукционных методов. **Ключевые слова:** вызванная поляризация, многочастотное индукционное профилирование, частотная дисперсия, кажущееся сопротивление, сульфидное месторождение.*

Davydov V.A., Baydikov S.V., Astafev P.F. (Senior researcher of the Geophysics Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)

STUDY POLARIZATION EFFECTS THROUGH INDUCTION METHODS OF ELECTRICAL PROSPECTING ON THE EXAMPLE CHUSOVSKOY DEPOSIT

*The paper studied the electromagnetic parameters of the upper section of the ore body Chusovskoy massive sulphide deposit using electrical induction. Various methods are made profiled and area studies of electrical conductivity and the frequency dispersion of the ore deposit area. Past work has shown the fundamental possibility of detection is not coming to the surface of the «blind» massive sulphide ores using shallow induction methods. **Keywords:** induced polarization, multifrequency induction profiling, frequency dispersion, apparent resistivity, sulphide deposit.*

На основании изучения ряда Уральских колчеданных месторождений выяснено, что над «слепыми» рудными телами (не выходящими на поверхность) почти всегда имеется ореол слабой сульфидной минерализации. Он