

Заключение

Урановое оруденение «витимского» типа локализуется в терригенных отложениях палеодолинных структур, врезанных в кристаллический фундамент. Оно образует линейно-ориентированные залежи: линзовидные субгоризонтальные в разрезе, лентообразные в плане, протяженностью от 800 до 5900 м при ширине от 20 до 300 м и усредненном содержании урана 0,05 %. Урановая минерализация дисперсная.

Рудовмещающая система «витимского» типа имела длительную историю развития, включающую: а) корообразование по геохимически специализированным на уран породам фундамента, приводившее к его высвобождению из аксессуариев и к переводу в легкоподвижную форму и выносу из областей питания поверхностными и грунтово-пластовыми водами; б) малоамплитудную тектоническую активизацию, обусловившую формирование грядово-холмистого рельефа, палеодолин и латеральную инфильтрацию слабо напорных ураноносных кислородсодержащих вод из сферы свободного водообмена в областях питания в водоносные горизонты; в) накопление проницаемых отложений, обогащенных сверхкларковыми содержаниями урана и сингенетическими восстановителями (углефицированными растительными остатками, гумусом), в процессе которого происходило последовательное формирование рудных концентраций, сначала сингенетических из обломочной части перемытых кор выветривания с рудной минерализацией представленной оксидами, а затем экзогенно-дигенетических, сформированных грунтовыми водами близодновременно осадконакоплению, где рудная минерализация с течением времени эволюционирует от многокомпонентных ураносодержащих гелей до мономинеральной формы нингионита; г) формирование плато базальтов в центральной части района и озерных отложений большой мощности на периферии района, что прекратило доступ кислородсодержащих вод и защитило сформированные рудные концентрации от разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

- Геология и сейсмичность зоны БАМ. Кайнозойские отложения и геоморфология. [Книга] / А.С. Ендрихинский, С.С. Осадчий, Б.П. Агафонов / Отв. ред. Н.А. Логачев — Новосибирск: Наука, 1983. — 171 с.
- Коченов, А.В. О минералого-геохимических особенностях инфильтрационных урановых месторождений «базального» типа / А.В. Коченов, А.Б. Халезов, Е.В. Шмарювич др. // Литология и полезные ископаемые. — 1990. — № 1.
- Коченов, А.В. К вопросу об источниках урана в экзогенных эпигенетических месторождениях / А.В. Коченов, А.Е. Халдей // Литология и полезные ископаемые. — 1997. — № 4 — С. 371–378.
- Халдей, А.Е. Радиогеохимические особенности пород фундамента Хиагдинского рудного поля (Витимское плоскогорье) / А.Е. Халдей, В.Б. Шагарова, А.В. Коченов // Материалы по геологии урановых месторождений. — 1988. — Вып. 115. — С 87–96.
- Шуршалина, М.А. К вопросу о формах нахождения урана в гранитоидах Витимского плоскогорья / М.А. Шуршалина, А.Е. Халдей, В.Б. Шагарова // Материалы по геологии урановых месторождений. — 1989. — Вып. 120. — С 77–86.
- Экзогенные эпигенетические месторождения урана (условия образования) / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1965.

© Тарханова Г.А., Прохоров Д.А., 2017

Тарханова Галина Александровна // vims@df.ru
 Прохоров Данила Артемович // prokhorov@vims-geo.ru

Паршин А.В.^{1,2,3}, Гребенкин Н.А.⁴, Морозов В.А.^{1,2}, Ржевская А.К.⁴, Шикаленко Ф.Н.⁵ (1 — ООО «Геоинформационные технологии — Сибирь», 2 — Иркутский национальный исследовательский технический университет, 3 — Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, 4 — ФГБУ «ВИМС», 5 — ООО «РАДЭК» Московская обл., г. Ногинск)

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СТАДИИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

*Рассмотрены методика и результаты низковысотных беспилотных геофизических съемок, выполненных методами магниторазведки и аэрогаммасъемки в предгорьях Восточного Саяна на месторождении урана Столбовое (Шангулежская площадь). Приведено сравнение с результатами наземных и традиционных аэрогеофизических съемок предшественников. Показано, что съемки с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) не уступают им по информативности, при этом относительно наземных геофизических исследований обеспечивают существенный прирост производительности и повышение экономической эффективности работ. **Ключевые слова:** БПЛА, тип «несогласия», гамма-спектрометрия, магниторазведка, уран.*

Parshin A.V.^{1,2,3}, Grebenkin N.A.⁴, Morozov V.A.^{1,2}, Rzhetskaya A.K.⁴, Shikalenko F.N.⁵ (1 — Geo-informational technologies — Siberia, 2 — Irkutsk National Research Technical University, 3 — Institute of Geochemistry, 4 — VIMS, 5 — RADEK)

THE FIRST RESULTS OF METHODOLOGICAL WORK ON THE APPLICATION OF BESPILOT AIRBORNE GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES AT THE STAGE OF PROSPECTING OF URANIUM DEPOSITS

*The technique and results of low-altitude unmanned geophysical airborne magnetic and gamma survey methods made in the foothills of the Eastern Sayan on the uranium deposit Stolbovoye (Shangulezhskaya area) are considered. The comparison with the results of ground and traditional airborne geophysical survey of predecessors is conducted. It is shown that unmanned aerial vehicles (UAVs) is not inferior in terms of informativeness to ground geophysical surveys and provide a significant production rate and increase economic efficiency. **Keywords:** UAV, unconformity type, gamma-ray spectrometry, magnetic, uranium.*

Одной из наиболее перспективных в России для выявления крупных эндогенных месторождений урана типа «несогласия» является протяженная зона южного обрамления Восточно-Сибирской плиты, объединяющая Чарский, Тонодский, Аkitканский, Присяянский и Северо-Енисейский потенциально урановорудные районы (ПУРР) [4, 2]. Перечисленные районы характеризуются сложными природными условиями ведения геологоразведочных работ (ГРР): пересеченным рельефом со значительными перепадами высот, крутыми склонами, курумами и залесенностью, что

существенно замедляет и удорожает наземные работы. Непростые ландшафтно-геоморфологические условия и удаленность от аэродромов не позволяют эффективно производить традиционную аэросъемку. Высокая ополоскованность дневной поверхности территории России на уран и преимущественно скрытый характер ожидаемого оруденения требуют разработки инновационных, более эффективных методов поисков и геологического изучения земных недр. Одним из возможных подходов к оптимизации отечественных ГРП в сложных природных условиях являются беспилотные технологии, которые с одной стороны позволяют избежать применения более трудоемких наземных методов, а с другой, за счет меньшей высоты и скорости полета, способствуют получению более детальных данных по сравнению с традиционной аэросъемкой.

С 2014 г. сотрудники совместной лаборатории «Геологической информатики» ИРНТУ и ИГХ СО РАН занимаются разработкой комплекса методов низковысотных дистанционных зондирований [12], ориентированных в первую очередь на поиски и оценку рудных полезных ископаемых. Созданный комплекс, получивший название Sib-GIS UAS, ранее использовался при поисках месторождений золота [6]. Для оценки применимости разработанных решений к задачам поисков месторождений урана в 2017 г. совместно с ФГБУ «ВИМС» были проведены опытно-методические работы на месторождении урана типа «несогласия» Столбовое, результаты которых изложены в настоящей статье. Апробацию проходили два метода на БПЛА — магниторазведка и гамма-съемка. Необходимо отметить, что если информация по применению технологий или попыткам создания низковысотных магниторазведочных съемок известна по редким публикациям [10; 5–8], (Cunningham и др, 2016; Pioneers Geophysics, 2016 и др.), то данные о проведении гамма-съемки на БПЛА на этапе ГРП в настоящее время в открытой литературе вообще отсутствуют [1]. Известны единичные примеры решения радиоэкологических задач с помощью БПЛА, которые совершенно неприменимы для выполнения съемок геологического назначения, особенно в сложных ландшафтно-геоморфологических условиях, что обусловлено крайне низкой скоростью БПЛА [11], малым временем полета, отсутствием механизмов обте-

кания рельефа [3], высокой стоимостью и сложностью обслуживания беспилотного аппарата [13]. В качестве модельного объекта было выбрано месторождение урана Столбовое на Шангулежской площади, расположенной в предгорьях Восточного Саяна (Нижнеудинский район Иркутской области). Район опытно-методических работ характеризуется весьма сложными ландшафтно-геоморфологическими и метеорологическими условиями, в том числе присутствием постоянных сильных порывов ветра на вершинах гор, что негативно влияет на проведение ГРП и соответственно их результаты.

Геологическое строение района

В региональном геологическом плане Шангулежская площадь с месторождением Столбовое располагается в пределах крупного Бирюсинского поднятия, относящегося к Восточно-Саянскому краевому выступу Сибирской платформы. В геологическом строении площади принимают участие нижнепротерозойские гранит-метаморфические комплексы фундамента и

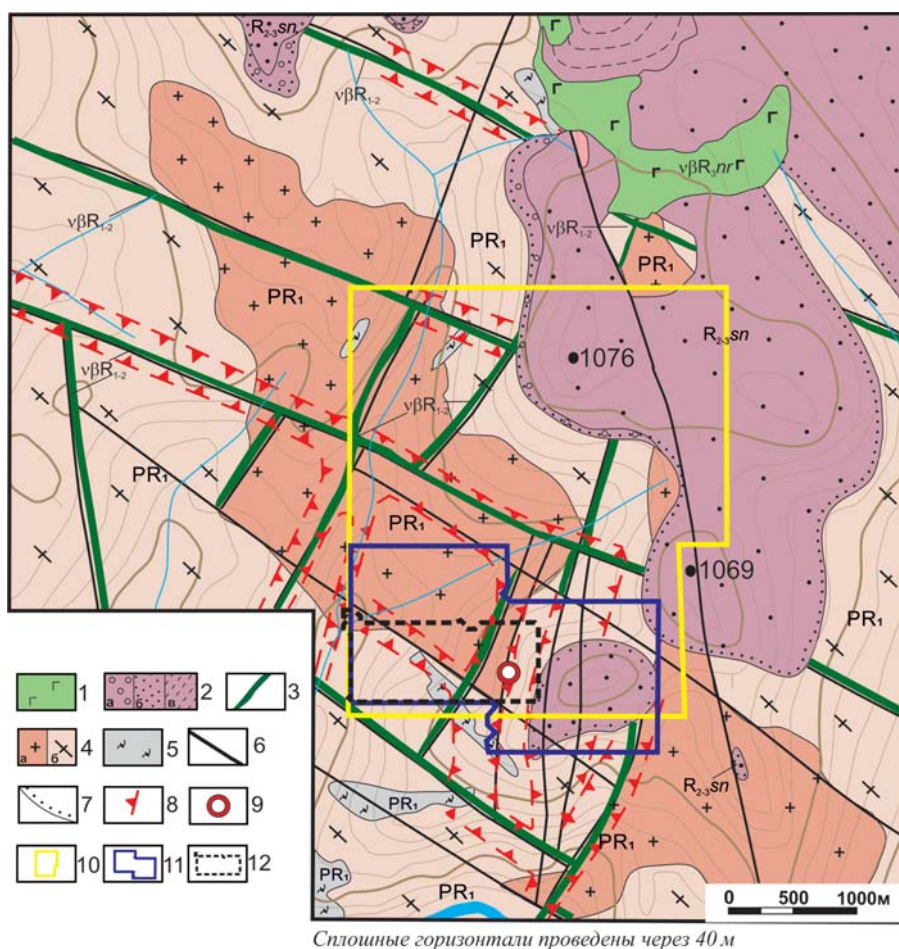


Рис. 1. Геологическая карта месторождения Столбовое (Шангулежская площадь): 1 — базиты нерсинского комплекса ($v\beta R_3nr$); 2 — терригенно-осадочные отложения карагасской серии (шангулежская свита $R_{2-3}sn$): а — гравелиты и конгломераты, б — песчаники, в — алевролиты; 3 — базиты предположительно ангаульского комплекса ($v\beta R_{1-2}$); 4 — гранитоиды саянского комплекса (PR_1): а — граниты, б — гнейсо-граниты; 5 — кристаллические сланцы сублукской серии (PR_1); 6 — зоны разломов; 7 — граница ССН; 8 — потенциально ураноносные и урановорудные зоны в породах фундамента; 9 — месторождение Столбовое; 10–12 — участки площадных геофизических ОМР: 10 — магнитная съемка на БПЛА, 11 — гамма-съемка на БПЛА, 12 — наземная гамма-съемка

перекрывающие его субплатформенные средне-верхнерифейские отложения чехла (рис. 1).

Структурный план определяется главными рудоконтролирующими разломами север-северо-западного простирания, являющимися отдельными швами регионального Саянского шва, а также оперяющими их второстепенными разломами субмеридиональной и запад-северо-западной ориентировки, которые трассируются дайками базитов и вмещают урановое оруденение.

Отложения средне-верхнерифейского чехла развиты по периферии Бирусинской купольной структуры. Они представлены красноцветными терригенно-осадочными породами шангулежской, тагульской и ипситской свит карагасской серии, которые с резким угловым и стратиграфическим несогласием залегают на коре выветривания цоколя.

Нижнепротерозойские гранит-метаморфические комплексы фундамента слагают центральную часть Бирусинского купола. К ним относятся гнейсо-граниты, биотит-роговообманковые граниты и плагиограниты саянского комплекса, среди которых нередко отмечаются скиалиты кристаллических сланцев сублукской серии нижнего протерозоя.

Более поздние магматические образования представлены дайками базитов предположительно нижнерифейского возраста, интрузирующими породы фундамента, перекрытые отложениями чехла, а также силлами габбро-долеритов нерсинского комплекса, датируемые позднерифейским временем и образующими пластовые тела в породах карагасской серии.

Месторождение Столбовое локализовано в гранитах фундамента вблизи границы предрифейского структурно-стратиграфического несогласия (ССН). Месторождение представлено серией рудных зон субмеридионального и запад-северо-западного простираний, протяженностью от первых сотен метров до 2 км и мощностью от первых метров до 250 м [9]. Они вмещают многочисленные жилы и линзы настуран-коффинит-кварцевого состава от нескольких десятков метров до 200 м и средней мощностью от 0,4 до 2,5 м с содержаниями урана от 0,05 до 0,15 %. В отдельных линзах содержания урана составляют 0,5–0,7 %, иногда достигают 6,2–26,7 %. Наиболее богатое оруденение характерно для верхних частей разреза. С глубиной концентрации урана резко снижаются, и на глубинах 200–250 м от дневной поверхности рудные жилы выклиниваются.

В 2015 г. буровыми работами в гранитоидах фундамента под чехлом рифейских песчаников шангулежской свиты были вскрыты «слепые» рудные тела с содержаниями урана от 0,136 до 1,48 % на мощности от 0,2 до 6,5 м.

Структура Шангулежской площади наиболее ярко проявляется в магнитном и гамма-полях. В целом для исследуемого района характерно низкое магнитное поле. В то же время по протяженным аномальным зонам выделяются дайки основного состава, магнитная восприимчивость которых достигает $(30-40) \times 10^{-3}$ ед. Си на фоне вмещающих немагнитных нижнепротерозойских гранит-метаморфических комплексов со значе-

ниями магнитной восприимчивости не более $0,1 \times 10^{-3}$ ед. Си. Породы осадочного чехла на всей площади исследований немагнитны. В гамма-поле по повышенным значениям радиоактивности отчетливо картируется серия рудовмещающих разломов запад-северо-западного и субмеридионального простираний с максимумами в зонах выхода богатой урановой минерализации на дневную поверхность. Граница отложений верхнерифейского осадочного чехла выделяется пониженными величинами радиоактивности.

На объекте-эталоне месторождения Столбовое ранее был проведен комплекс геофизических исследований, включающих наземную и аэросъемки масштаба 1:10 000. ГРП выполнялись в 2013–2015 гг., прошли апробацию в установленном порядке, полученные материалы являются кондиционными. Сопоставление результатов этих работ с данными настоящих опытно-методических исследований позволяет обоснованно оценить эффективность разработанных беспилотных аэрогеофизических технологий.

Методика и технология опытно-методических работ

Методика магниторазведочных исследований с применением комплекса SibGIS UAS подробно изложена в ранее опубликованных работах авторов [6, 7]. Последние технико-методические новшества связаны с увеличением эффективной скорости полета в горных условиях до 10–12 м/с. В рамках опытных гамма-спектрометрических исследований программно-аппаратное обеспечение комплекса SibGIS UAS практически не отличалось от магниторазведочного комплекса. Для увеличения тяговой силы на обычно применяемый шестироторный БПЛА с номинальной грузоподъемностью 2,5 кг была установлена более мощная винтомоторная группа, обеспечившая возможность полетов с гамма-спектрометром массой более 4 кг. Последнее стало возможным при условии отказа от второго аккумулятора, что привело к снижению времени полета до 13–15 мин. Внешний вид этих комплексов, дающий представление о конструкции аэромобильной части, изображен на рис. 2.

Аэросъемка с применением БПЛА проводилась авторами ранее в пределах участков с относительно низкой растительностью (Бодайбинский район) на высотах не более 30 м. Применение высокочувствительного детектора CsI 80×80 мм позволило в сложных ландшафтно-геоморфологических условиях Восточного Саяна успешно осуществить гамма-съемку на уровне 70 м от дневной поверхности.

Для выполнения гамма-съемки использовалась следующая методика:

Построение цифровой модели местности на основе топографических данных SRTM (Shuttle radar topographic mission) 1-arc-second и карт ГГЦ (ГосГисЦентра) масштаба 1:50 000.

Подготовка полетных заданий с помощью специализированного программного обеспечения SibGIS Flight Planner [4] с целью исследования территории по регулярной сети профилей и пикетов с обтеканием рельефа и постоянной скоростью полета, а так-

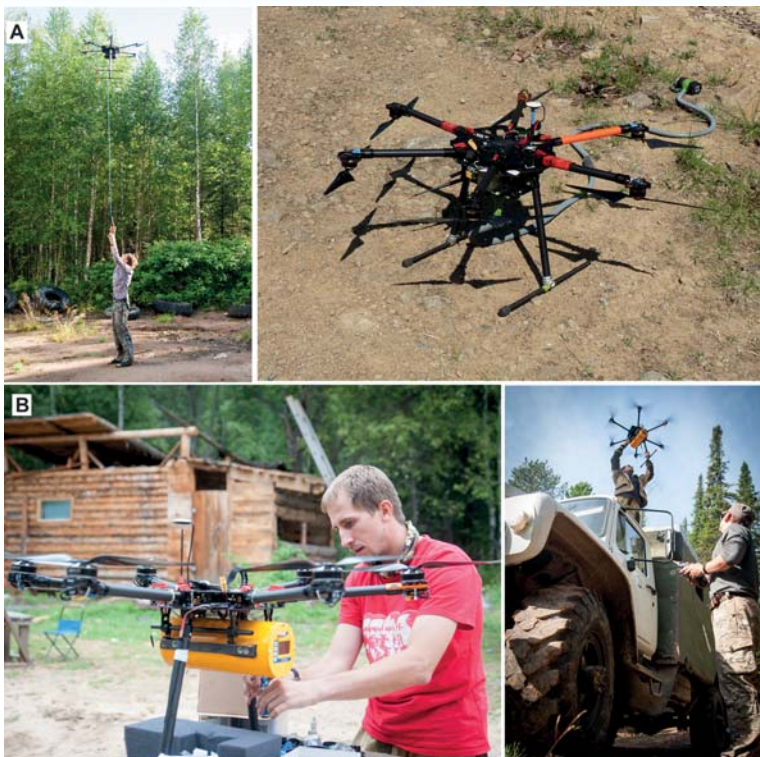


Рис. 2. Магниторазведочный (А) и гамма-спектрометрический (Б) варианты комплекса SibGIS UAS

же последующий экспорт данных полетных заданий в форматы, поддерживаемые системами автопилота.

Проведение съемки в рамках полетного задания на эталонном участке в масштабах 1:5 000 и 1:10 000 с установленным на БПЛА гамма-спектрометром. Измерения интегрального канала выполняются с осреднением за период 1 раз в 3 сек. и сопровождаются фиксацией данных точного времени с GPS-антенны. Позиционная информация считывается с системы навигации БПЛА, обеспечивающей точность привязки в пределах 1 м в плане и 0,8 м по высоте. В перспективе планируется использование системы кинематики реального времени с целью повышения точности выполнения задания и привязки точек измерений до первых десятков сантиметров. Скорость полета БПЛА составляла 5 м/с, соответственно шаг радиометрических измерений по профилю — 15 м. В конструкции апробируемого спектрометра запись спектра гамма-излучения производилась по отдельному каналу, что обеспечивало возможность передачи информации оператору вместе с данными телеметрии БПЛА в режиме реального времени. Такая методика позволяет успешно решать радиоэкологические задачи, т.к. оператор при обнаружении аномалии в любой момент

времени может остановить полет БПЛА, который зависнет над ней для накопления спектра. Для целей ГРП, по мнению авторов, более рационально по итогам картирования плотности потока гамма-излучения формировать новое полетное задание, согласно которому БПЛА будет заверять выделенные аномалии, останавливаясь над каждой заданной точкой и накапливая спектр сигнала не менее минуты. Это обеспечит получение более точных данных расчета концентраций и изотопных соотношений. В том случае, если полетный профиль будет пересекать край аномалии, предлагаемая методика исключит пропуск полезных сигналов и позволит достоверно определять природу радиоактивности. Параллельно или заранее может быть выполнена мультиспектральная съемка для оценки растительного покрова и внесения соответствующей поправки, что существенно для площадей с неравномерным распределением леса.

Обработка данных и построение итоговых карт выполняются на завершающем этапе аэрообработки.

Результаты опытно-методических работ

На рис. 3Б приведены результаты БПЛА-магнитометрической съемки на объекте Столбовое в сопоставлении с наземной (3В) и традиционной аэромагнитной (3А) съемками. Представленные магнитометрические исследования выполнены в масштабе 1:10 000 по профилям наземной съемки. Традиционная аэромагниторазведка была проведена предшественниками с использованием вертолета МИ-8МТВ на высоте порядка 100 м.

Полученные данные, по мнению авторов, качественно превосходят результаты наземных работ, в которых проявляется комплекс негативных эффектов, обусловленных сложными природно-ландшафтными условиями. В связи с применением высокоточного абсолютного протонного магнитометрического канала в комплексе SibGIS UAS отсутствует профильность и многие другие негативные эффекты, устранение которых требует математической обработки данных. Ре-

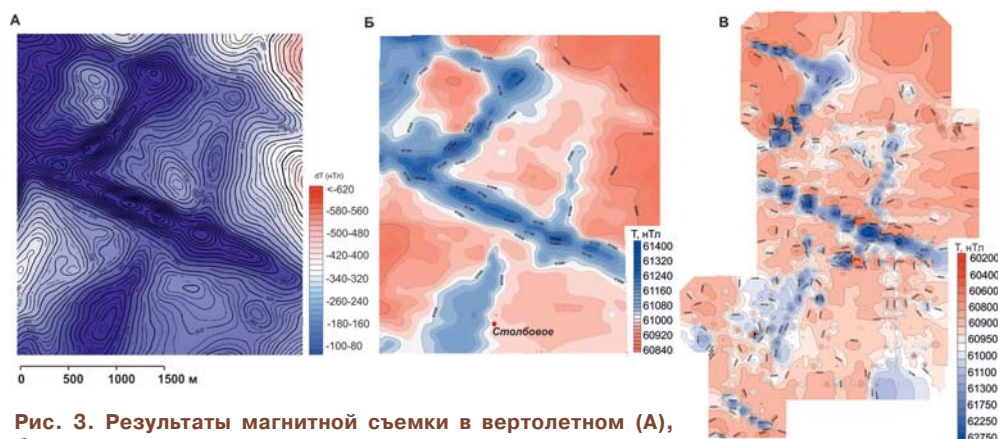


Рис. 3. Результаты магнитной съемки в вертолетном (А), беспилотном (Б) и пешеходном (В) вариантах

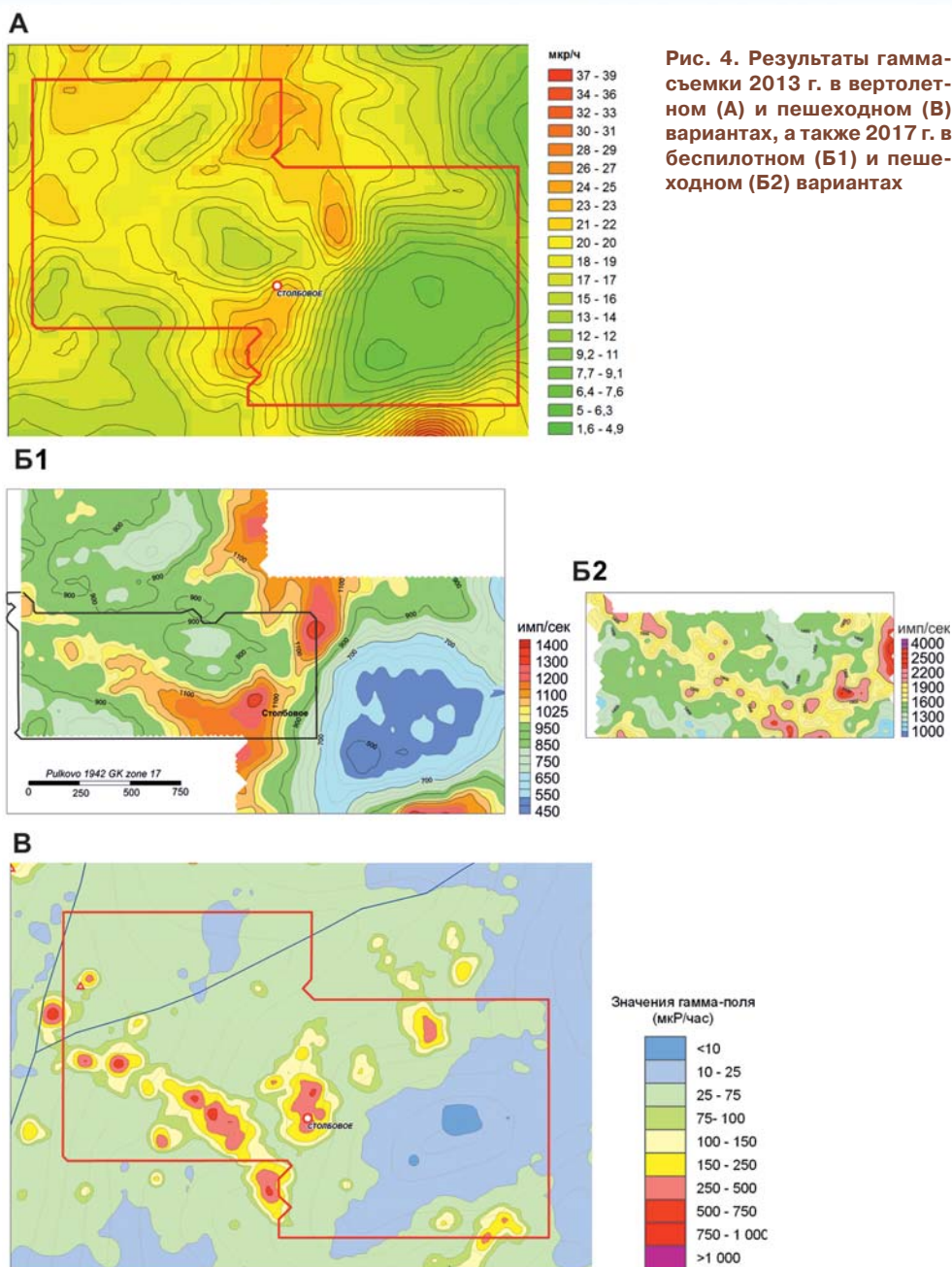
зультаты комплексной съемки на БПЛА пригодны для качественного анализа *in situ* после учета вариаций. В то же время значимого прироста детальности данных наземной съемки по сравнению с беспилотной не отмечается. Несмотря на высокую сходимость результатов беспилотной и вертолетной съемок, детальность данных с БПЛА существенно выше. Так, на карте магнитного поля, построенной по данным беспилотной съемки (рис. 3Б), линейные зоны запад-северо-западного и субмеридионального простираний проявляются более контрастно и детально, чем на картах предыдущих исследований (рис. 3А, В). Эти зоны отвечают многочисленным дайкам габбро-долеритов, которые в северо-восточной части площади перекрываются верхнерифейскими отложениями осадочного чехла (рис. 1). В области их погружения (контакта) под породы чехла, в том числе на участках, где его мощность существенно увеличивается, резко снижается интенсивность магнитного поля аномалий, однако зоны не утрачивают линейного вида. Таким образом, беспилотные технологии магниторазведки в отличие от наземных и традиционных методов позволяют достоверно картировать в пределах Шангулежской площади контакты интрузий габбро-долеритов с осадочными породами чехла, а также проследить перекрытые мощной толщей осадков эти тела базитов.

Независимо от вида ТПИ магниторазведка широко и повсеместно применяется в геологоразведочном процессе. Разработанный беспилотный вариант метода комплексом SibGIS UAS показал свою эффективность в сложных геологических и ландшафтно-геоморфологических обстановках. Расчет финансовых затрат свидетельствует, что природные условия не влияют на стоимость низковисотной магниторазведки, цена которой составляет половину от цены аналогичных наземных исследований.

Перед проведением беспилотной гамма-съемки с целью апробации специально разработанного аэро-

спектрометра в непрерывном режиме была выполнена наземная радиометрическая съемка по субширотным профилям в масштабе 1:5 000 (рис. 4Б2). Непосредственно гамма-исследования на БПЛА проводились в масштабе 1:10 000 в том же направлении по профилям наземных работ 2013 г. Целью беспилотных аэроисследований являлось картирование рудных зон субмеридионального и запад-северо-западного простираний, а также пород рифейского осадочного чехла (рис. 4Б1).

На рис. 4А показаны результаты аэроработ 2013 г. в вертолетном варианте масштаба 1:10 000, дающие общие представления о наличии аномалий без возможности их геометризации. Результаты предшествующих наземных исследований того же масштаба детализируют картину гамма-поля, и выделенные аномалии приобретают вид линейных разнонаправленных зон (рис. 4В).



В свою очередь, данные беспилотной съемки имеют хорошую сходимость с результатами наземных исследований 2017 г. (рис. 4Б1 и 4Б2), выполненных одним спектрометром. Проведенные исследования позволяют получить более сглаженное поле без влияния приповерхностных и поверхностных неоднородностей. В процессе проведенных ОМР удалось наиболее достоверно откартировать осадочный верхнерифейский чехол, границу ССН, а также аномальные (рудные) зоны запад-северо-западного и субмеридионального простираний.

По итогам анализа данных беспилотной съемки было дополнительно выделено несколько зон повышения гамма-активности в северной и южной частях участка, в то время как предшественниками по результатам наземной съемки значимых аномалий радиоактивности там зафиксировано не было.

Таким образом, по результатам беспилотной гамма-съемки получена более детальная и цельная картина гамма-поля Шангулежской площади по сравнению с данными ранее выполнявшихся работ. Она отражает основные элементы геологического строения площади, а также позволяет расшифровать структуру рудного поля месторождения Столбовое.

Анализируя производительность и экономическую эффективность беспилотных технологий, отметим, что один полноценный комплекс на БПЛА под управлением двух человек позволяет выполнить в день порядка 30–50 пог. км съемки, в то время как выработка маршрутной (пешеходной) пары в тех же ландшафтно-геоморфологических условиях составляет 5–7 км. Исходя из этого, стоимость беспилотной съемки будет в 1,5–2 раза дешевле наземных работ того же масштаба.

Выводы

В настоящей публикации представлены первые в мире результаты выполнения квазиразземной беспилотной гамма-съемки геологического назначения. Представленные материалы свидетельствуют о возможности получения данных высокого качества и детальности беспилотными методами на высотах 70 м над рельефом дневной поверхности. При этом важнейшим условием получения верных и точных данных является прецизионное следование цифровой модели рельефа. В перспективе с целью повышения точности выполнения полетных заданий при проведении гамма-съемки целесообразно применить систему кинематики реального времени.

При проведении прогнозных и поисковых работ на уран в пределах площадей ранга рудного узла — рудного поля в рассмотренных геологических и ландшафтно-геоморфологических условиях беспилотные аэроисследования целесообразно проводить в масштабе 1:10 000.

Разработанный аэрокомплекс на БПЛА и представленную методику необходимо использовать при проведении ГРП на уран и другие виды ТПИ, в том числе на площадях со сложными природными условиями. Очевидно, что беспилотные технологии превосходят традиционные наземные исследования по информативности, экономической эффективности (в 1,5–2 раза) и производительности (в 4–6 раз).

Таким образом, низковысотные квазиразземные методы магнито- и гамма-съемки с обтеканием рельефа уже в ближайшей перспективе могут заместить часть рынка наземных геофизических работ на стадии поисков и оценки, поскольку они информативнее, производительнее и дешевле.

В 2018 г. в рамках планируемого поискового задания на уран в пределах Шангулежской площади будут применены беспилотные аэрогамма- и магнитная съемки масштаба 1:10 000 в пределах участков развития зоны ССН. Целью этих аэроработ будет картирование границы ССН, ураноносных зон, трассирующих их тел базитов и прослеживание их под рифейским осадочным чехлом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бахур, А.Е. Перспективы использования БПЛА в радиоэкологии и при поисковых геологоразведочных работах / А.Е. Бахур, А.В. Стародубов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 12. — С. 3–9.
2. Будяк, А.Е. Геохимические особенности формирования Au–U месторождений типа «несогласия» (Северное Забайкалье) / А.Е. Будяк, А.В. Паршин, А.М. Спиридонов, В.Н. Реутский, Б.Б. Дамдинов, М.Г. Волкова, Ю.И. Тарасова, В.А. Абрамова, Н.Н. Брюханова, О.В. Зарубина // Геохимия. — 2017. — № 2. — С. 149–160.
3. Забулонов, Ю.Л. Аэрогамма-спектрометрическое обследование в Чернобыльской зоне отчуждения на базе БПЛА типа октокоптер / Ю.Л. Забулонов, В.М. Буртняк, И.О. Золкин // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). — 2015. — № 5(99) — С. 163–167.
4. Машковцев, Г.А. Перспективы ураноносности Южного обрамления Восточно-Сибирской плиты / Г.А. Машковцев, Н.А. Гребенкин, А.К. Мигута, В.Н. Щеточкин // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 4. — С. 3–16.
5. Паршин, А.В. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 1 / А.В. Паршин, А.Е. Будяк, А.В. Блинов, А.Н. Костерев, В.А. Морозов, А.О. Михалев, С.Н. Просекин, Ю.И. Тарасова, А.М. Спиридонов // География и природные ресурсы. — 2016. — № 6. — С. 144–149.
6. Паршин, А.В. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 2 / А.В. Паршин, А.Е. Будяк, А.В. Блинов, А.Н. Костерев, В.А. Морозов, А.О. Михалев, С.Н. Просекин, Ю.И. Тарасова, А.М. Спиридонов // География и природные ресурсы. — 2016. — № 6. — С. 150–155.
7. Паршин, А.В. Комплекс для беспилотной аэромагниторазведки / Пат. РФ №172078, приоритет от 19.06.2016.
8. Паршин, А.В. Настоящее и будущее беспилотной аэрогеофизики в России / А.В. Паршин, В.С. Цирель, В.Г. Анцев // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 8. — С. 33–39.
9. Уран российских недр / Под ред. Г.А. Машковцева. — М.: ВИМС, 2010. — 855 с.
10. Эпов, М.И. Магниторазведчик: нам сверху видно все / М.И. Эпов, А.П. Фирсов, А.В. Савлук, И.Н. Злыгостев // Наука из первых рук. — 2016. — Т. 71–72. — № 5–6. — С. 104–109.
11. Martin, P.G. The use of unmanned aerial systems for the mapping of legacy uranium mines / P.G. Martin, O.D. Payton, J.S. Fardoulis, D.A. Richards, T.B. Scott // Journal of Environmental Radioactivity. — 2015. — V. 143. — P. 135–140.
12. Parshin, A. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multicopter UAV as a promising replacement for traditional ground survey / A. Parshin, V. Morozov, A. Blinov, A. Kosterev, A. Budyak // Geo-spatial Information Sciences. — 2017. — V. 20.
13. Yukihiya Sanada Aerial radiation monitoring around the Fukushima Daiichi nuclear power plant using an unmanned helicopter / Yukihiya Sanada, Tatsuo Torii // Journal of Environmental Radioactivity. — 2015. — № 139. — P. 294–299

© Коллектив авторов, 2017

Паршин Александр Владимирович // sarhin@geo.istu.edu
Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin2@mail.ru
Морозов Владимир Андреевич // raulett@gmail.com
Ржевская Анна Кирилловна // anna.k.rzhevskaya@gmail.com
Шикаленко Федор Николаевич // director@radek.ru