

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ КОСМОДЕШИФРИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР ЛЕБЕДИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА, ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ

© 2019 г. Д. Н. Куприков^{1,2,*}, И. В. Викентьев²

¹ООО «ГеоСолюшинс», Москва

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Москва

*E-mail: dkuprikov@bk.ru

Поступила в редакцию 21.12.2018 г.

На основании космодешифрирования получены новые данные по рудоконтролирующим структурам Лебединского рудно-россыпного узла. Был проведен стадийный анализ территории от рудного узла до рудного тела (зоны Мятёжной), в результате чего было уточнено положение этой зоны. Выявлены крупные рудовмещающие структуры, а при детальном изучении — локальные, которые были заверены в ходе геологических маршрутов с отбором проб. На основании положительных результатов опробования и выявления сопровождающих оруденение метасоматических зон были заложены горные выработки — канава и несколько скважин. В результате горных работ подтверждено наличие рудной зоны; по зоне апробированы прогнозные ресурсы золота по категориям P_1 и P_2 .

Ключевые слова: дешифрирование, дистанционная основа, очагово-купольные магматические формы, линейные зоны разломов, зона Мятёжная, золото

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019345-54>

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие методов дистанционного зондирования Земли из космоса (Геологические ..., 1975; Аэрокосмические ..., 2000; Бондур, Зверев, 2007) поставило вопрос об использовании космических снимков при прогнозно-металлогенических исследованиях. Появилась уникальная возможность исследовать особенности строения любых участков земной поверхности с помощью материалов разного масштаба и вида (Анализ ..., 1979; Трифонов, 2010; Разработка ..., 2018; Yousefi et al., 2018). Дистанционное зондирование играет значительную роль при прогнозных и поисковых работах на различные виды полезных ископаемых, особенно для закрытых и удаленных территорий. В данных космодешифрирования прямо или косвенно отражается ряд известных факторов контроля рудоносных таксонов на разных иерархических уровнях, а также выявляются новые, ранее неизвестные, что позволяет выделять площади, перспективные для рудолокализации (Перцов и др., 1974; Моралев и др., 1995; Поцелуев и др., 2012; Graham et al., 2018).

Прогнозирование новых рудных объектов в Сибирском регионе, особенно в Южной Якутии, сопряжено с многими сложностями. Одно из

основных — крайне низкая обнаженность территории, что затрудняет геологическое картирование (Молчанов и др., 2013; Кукушкин и др., 2018). В настоящей статье для Лебединского рудно-россыпного узла (ЛРУ) приведены оригинальные данные космодешифрирования, выполненного при проведении поисковых работ ФГУП ЦНИГРИ и «Алдангеологии» в 2013–2015 гг.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе работ был проведен анализ дистанционных, геофизических, геохимических и других материалов на площадь двух 1:1000000 листов О-51 и О-52, охватывающих практически весь Алданский шит. В результате: — были установлены региональные структурные признаки, потенциально влияющие на процессы рудообразования; — подтверждена определяющая роль МЗ тектоно-магматического этапа; — были выделены участки, благоприятные для формирования таксонов ранга «золоторудный район» (рис. 1, 2).

На втором этапе работы проводились на площади Центрально-Алданского района (рис. 2б). По результатам анализа космоснимков более высокого разрешения, комплекта геологических

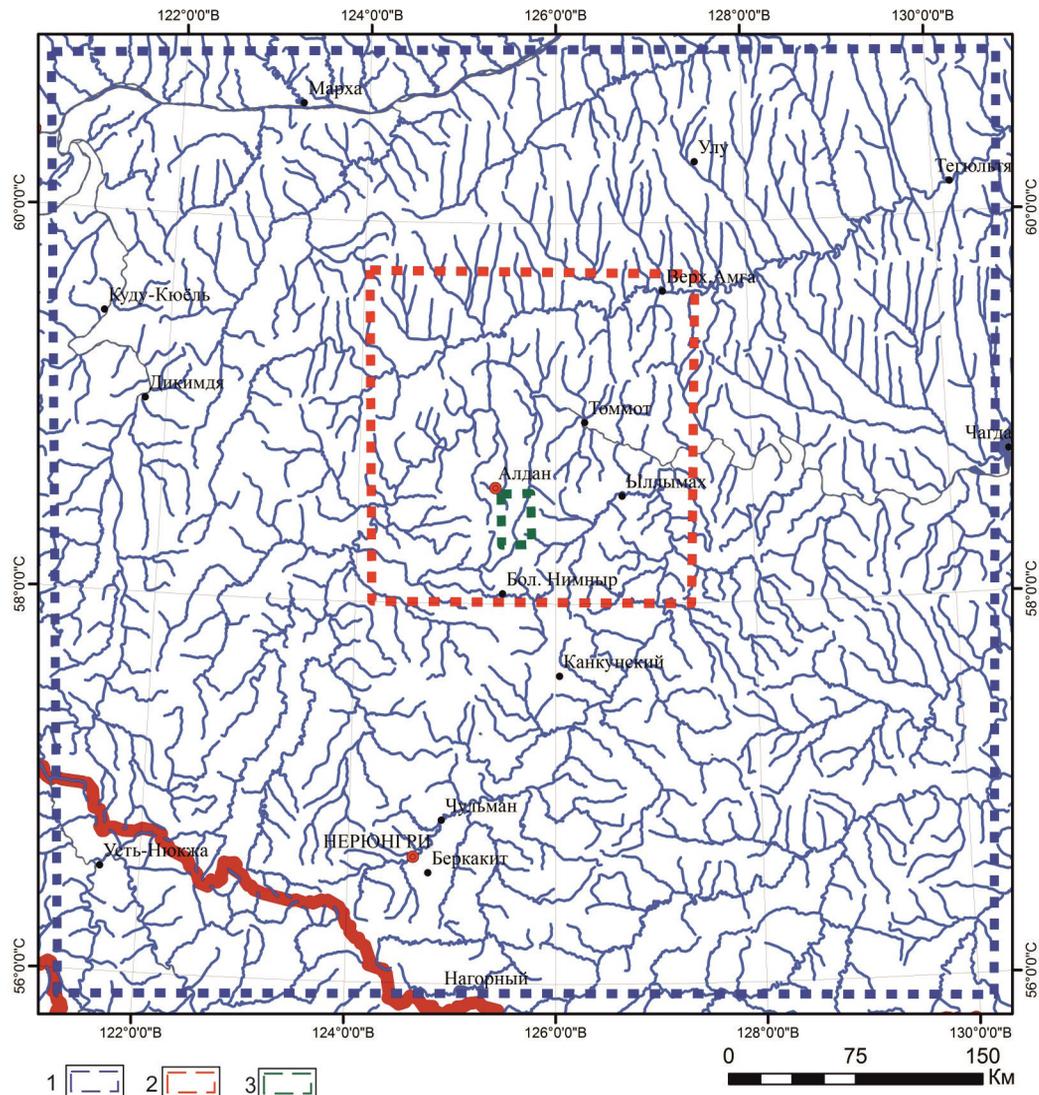


Рис. 1. Контуры работ по этапам, показанные на гидрографической схеме Южной Якутии. 1 — первый этап; 2 — второй этап; 3 — третий этап.

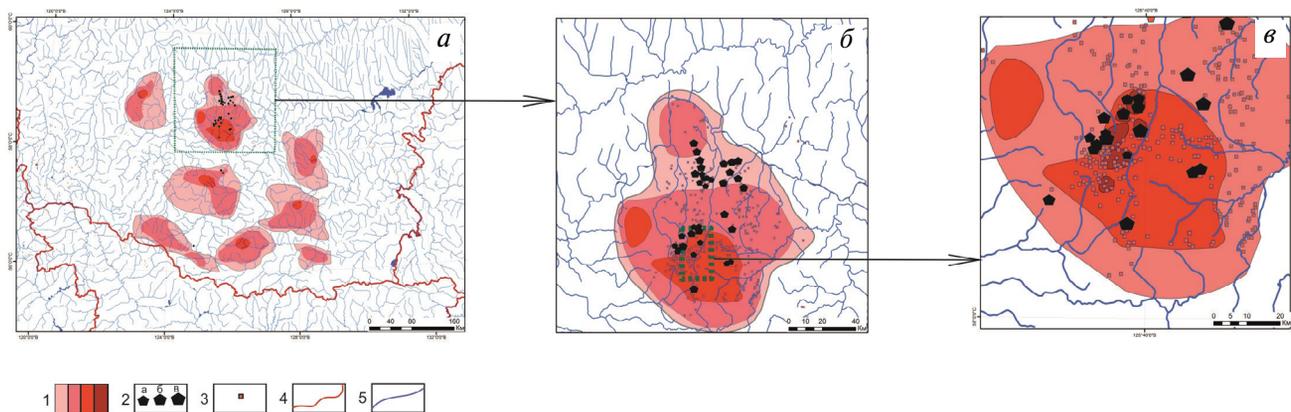


Рис. 2. Схема перспективных участков Южной Якутии по результатам анализа дистанционных, геофизических, геологических и др. материалов различного разрешения для локализации золотого оруденения в рангах: *а* — район; *б* — узел; *в* — поле.

1 — участки с различной степенью перспективности от слабоперспективных до высокоперспективных; 2 — известные месторождения: *а* — малые, *б* — средние, *в* — крупные; 3 — рудопроявления; 4 — границы субъектов РФ; 5 — реки.

карт, геофизических, геохимических и других данных были выделены перспективные площади ранга «золоторудный узел».

Работы третьего этапа были проведены на площади 455 км² в пределах Лебединского рудно-россыпного узла (рис. 2*б*). На этом этапе анализировались материалы с максимальным разрешением, учитывая различные предпосылки и признаки золотого оруденения (Крейтер, 1960; Иванов, 2016; Некрасов, 2018).

В результате построена дистанционная основа космодешифрирования, которая содержала материалы для дистанционной прогнозно-поисковой модели. Выделены перспективные участки,

большинство из которых хорошо коррелируется с известными рудными полями (Бойцов и др., 2006; Молчанов и др., 2018), на одном из выделенных новых участков в пределах Колтыкон-Самодумовского рудного поля (рис. 3) было проведено детальное дешифрирование. Этот участок был выбран ввиду хорошей дешифрируемости и наличия благоприятных металлогенических признаков. На этапах 1–3 был применен опыт дистанционного зондирования Ю.Н. Серокурова и В.Д. Калмыкова (Серокуров и др., 2008; Серокуров, Калмыков, 2013).

Территория ЛРУ характеризуется плохой (70%) и удовлетворительной (30%) обнаженностью;

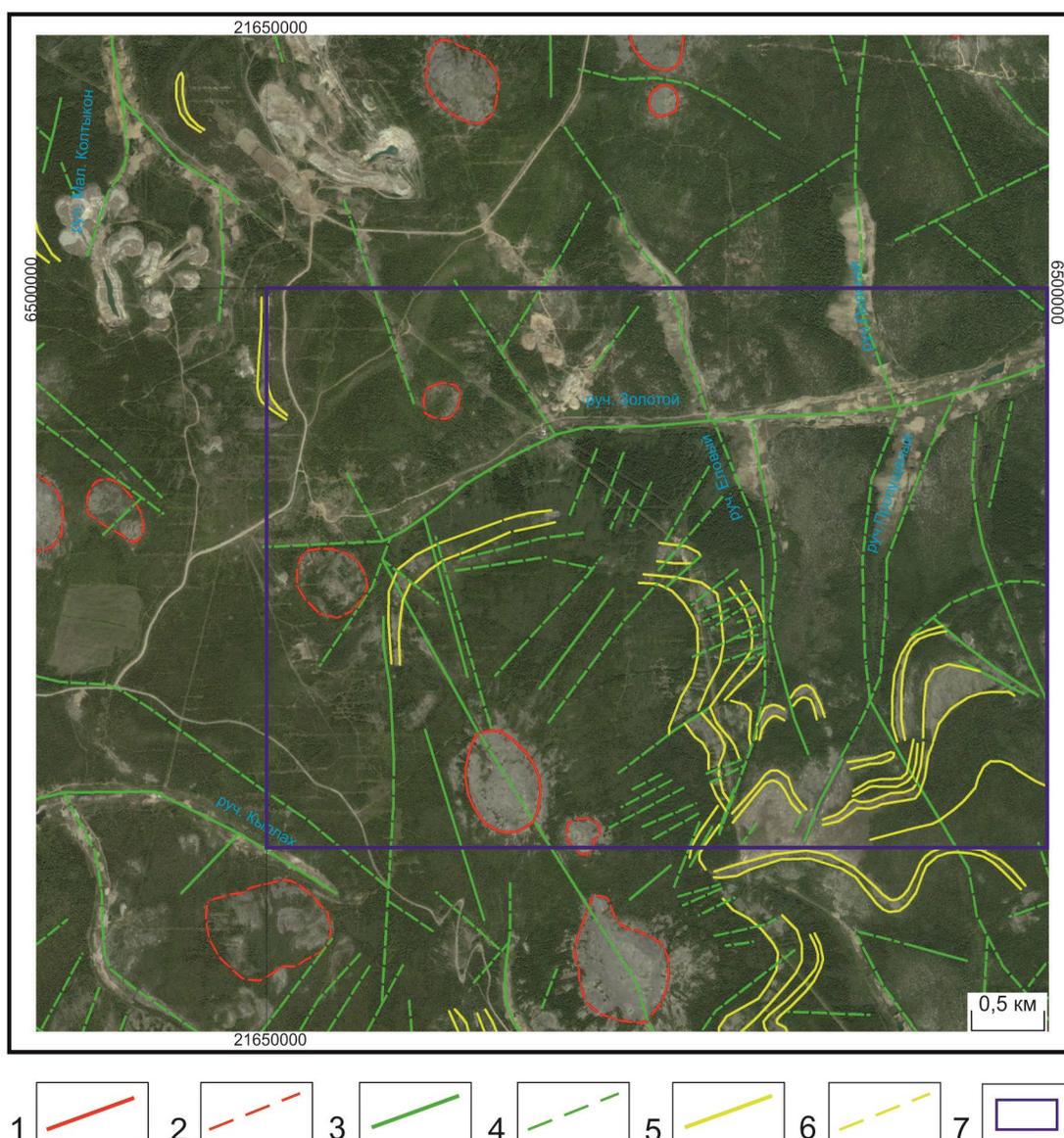


Рис. 3. Схема космодешифрирования Колтыкон-Самодумовского рудного поля. 1, 2 — очагово-купольные (магматические) формы, отчетливо и слабо проявленные; 3, 4 — линейные зоны разломов (линеаменты), отчетливо и слабо проявленные; 5, 6 — структурные линии, соответствующие геологическим границам, отчетливо и слабо проявленные; 7 — участок зоны Мятёжной (рис. 4).

последняя отмечается лишь в пределах вершин и водораздельных частей гольцов, плохая — на склонах и в долинах водотоков. Естественные обнажения горных пород редки. Мощность элювиально-делювиальных отложений в среднем от 1 до 3 м, у подножия крутых склонов увеличивается до 10 м. Мощность аллювиальных образований в долинах достигает 20 м. Территория расположена в зоне развития многолетней мерзлоты, при этом ее мощность (по данным бурения) может достигать 300 м. Площадь покрыта растительностью горно-таежного типа, а также перекрыта мхом и ягелем.

Для подготовки дистанционной основы космодешифрирования территории были подобраны космоснимки (landsat, yandex, google, bing, here) с высоким разрешением масштаба 1:25 000 и 1:10 000, сделанные в летний и зимний периоды. Снимки применялись многоканальные, спутник LandSat-7, разрешение 15 м на точку (1 канал), инфракрасная камера с разрешением 30 м (6 каналов), температурный сенсор (дальний ИК-диапазон) с разрешением 60 м. Их анализ показал, что наиболее информативны снимки летнего периода, по которым и были составлены космосхемы.

Выделение рудоконтролирующих структур в ЛРУ затруднено в связи с высокой залесенностью площади. Наиболее благоприятна для дешифрирования северная часть ЛРУ. Опыт в области геолого-геоморфологического картирования для решения геолого-поисковых задач на площадях с низкой обнаженностью показал недостаточность применения одного-двух методов для достоверной интерпретации аэрокосмических данных и необходимость использования комплекса методов геометризации и дешифрирования линеаментов и других структур (Томсон, Фаворская, 1968; Поцелуев и др., 2012; Graham et al., 2018).

В процессе исследования на основании дешифровочных признаков и данных о строении региона были уточнены геологические границы, выявлены предполагаемые рудоконтролирующие разломы. При составлении дистанционной основы прогнозирования золоторудных месторождений Лебединского рудно-россыпного узла применялся подход, опирающийся на принцип аналогий и предусматривающий первоначальное выявление рудолокализирующих структур в пределах уже известных рудоносных площадей.

Схема (рис. 3) построена с применением ArcGIS10.2 в системе координат 21 зоны Пулково 1942 в проекции Гаусса Крюгера. В пределах

Лебединского узла выделены три основных типа дешифрируемых объектов:

- очагово-купольные кольцевые формы магматической природы, обладающие радиально-концентрическим строением и возникшие в процессе MZ тектоно-магматической активизации;
- линейные зоны разломов (линеаменты) северо-восточного и северо-западного простирания, принадлежащие к Томмот-Эльконской и Юхтинской зонам глубинных разломов (Кац и др., 1986); менее выражены линейные зоны разломов субмеридионального простирания Орто-Салинской системы;
- структурные линии, соответствующие геологическим границам.

К *очагово-купольным магматическим формам* при дешифрировании по фототону, рельефу и микрорельефу, характерной форме, геоморфологическим признакам отнесены кольцевые и полукольцевые структуры, вероятнее всего, отражающие MZ тектоно-магматическую активизацию. Эти объекты обычно имеют большую площадь, чем выходы на дневную поверхность мезозойских интрузивов (штоков, лакколлитов, силлов) монзонит-сиенитовой, сиенит-порфировой, фергусит-щелочносиенитовой, лейцит-щелочнотрахитовой и других формаций (Максимов и др., 1982; Молчанов и др., 2013).

В центральной части площади, между ручьями Золотой, Еловый и Турук, проявлены объекты полукольцевой формы, отражающие выходы на поверхность сиенитовых силлов (рис. 4). Эти объекты осложнены линеаменами радиальной направленности (радиальными разломами) и полукольцевыми разломами. Именно здесь, в полукольцевой зоне разломов, канавой и скважинами вскрыта мощная минерализованная дайка сиенит-порфиров — рудная зона Мятая, по которой посчитаны прогнозные ресурсы категорий P_1 и P_2 . Минерализованная дайка прослежена в геологических маршрутах, и перспективы выявления протяженного рудного тела велики.

Линейные зоны разломов (линеаменты), выделяемые на космосхеме, фиксируют разломы как глубинные, так и более высоких порядков. К глубинным относятся хорошо выраженные разломы северо-восточного и северо-западного, реже меридионального (Фасталович, Петровская, 1940) простирания, Томмот-Эльконской и Юхтинской, Орто-Салинской и др. систем.

Согласно классификации А.И. Суворова и А.В. Пейве (1977) глубинные разломы разделены на мезоглубинные (корово-мантийные) и гипоглубинные (коровые). Основанием отнесения

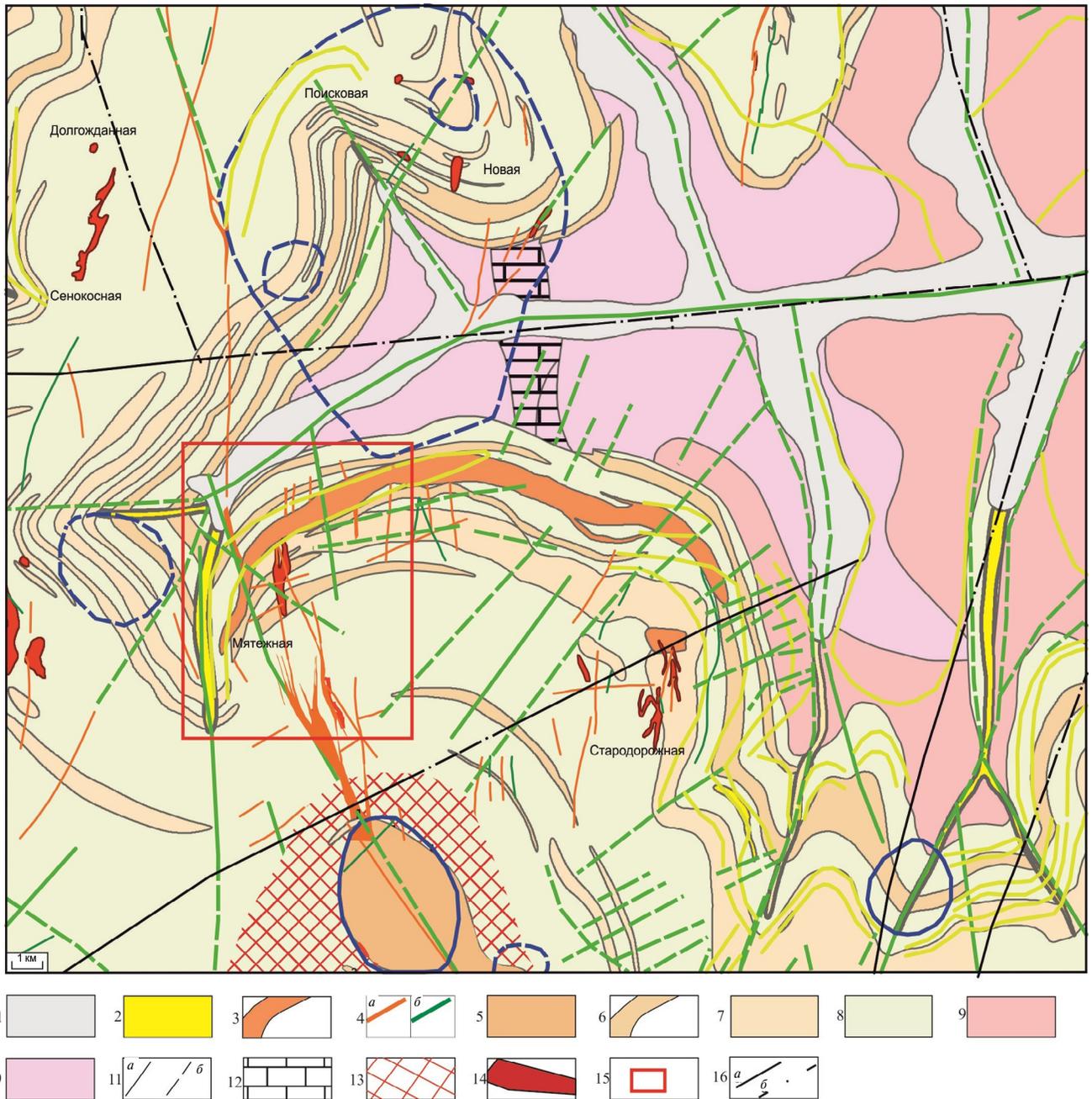


Рис. 4. Сопоставление данных космодешифрирования с геологическим строением Колтыкон-Самодумовского рудного поля (по данным ГДП-200, В.А. Луконин и др., 1964 г.). 1 — техногенные (рыхлые) отложения; 2 — верхнечетвертичные образования нерасчлененные (аллювий пойм, русел); 3 — мезозойский вулканоплутонический комплекс, дайки и силлы эгириновых бостонитов; 4 — колтыконский комплекс: а — дайки, пластовые интрузии роговообманковых сиенит-порфиров, б — субшелочных и щелочных лампроитов — минетт, вогезитов, керсантитов; 5 — лебединский комплекс — штоки, лакколиты щелочнополевошпатовых эгирин-авгитовых сиенитов; 6 — верхнеселегдарский комплекс — силлы роговообманковых, биотит-роговообманковых сиенит-порфиров, вогезитов; 7 — ороченский комплекс — силлы, лакколиты субшелочных и кварцсодержащих сиенит-порфиров, бостонитов; 8 — венд-кембрийская система, усть-юдомская свита — доломиты, битуминозные с прослоями оолитоподобных реже глинистых, известковистых доломитов; 9 — протерозойский магматический комплекс, ранний протерозой, граниты нерасчлененные щелочно-полевошпатовые, двуполевошпатовые; 10 — архей, федоровская серия нерасчлененная — роговообманковые, гиперстен-диопсид-роговообманковые, биотитовые, биотит-амфиболовые кристаллические сланцы, реже гнейсы, линзы кальцифиров мраморов; 11 — геологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые; 12 — зоны мраморизации; 13 — зоны скарнирования; 14 — пирит-анкеритовые, пирит-анкерит-гематитовые, кварц-анкерит-гематитовые жилы-залези; 15 — участок зоны Мятажной на схематическом плане (рис. 5); 16 — разрывные нарушения: а — установленные, б — предполагаемые под рыхлыми отложениями; остальные условные обозначения см. на рис. 5.

разломов к корово-мантийным являются данные магнитотеллурического зондирования, выявившие Центральную-Алданскую техносферную воронку (Абрамов, 1985). На большей части территории разломы перекрыты рыхлыми отложениями и непосредственно не картируются. Соответственно, выделены две группы разломов: непокрытые четвертичными отложениями и скрытые под ними.

Разломы высоких порядков выделяются по комплексу признаков и имеют относительно небольшие размеры, амплитуду перемещения и обычно развиваются самостоятельно, реже могут слагать более масштабные зоны разломов. Подразделяются они также на две группы: непокрытые четвертичными отложениями и скрытые под ними. Часто линеаменты дистанционной основы отражают положение скрытых рудоносных разломов, определяющих положение золотоносных минерализованных зон.

Структурные линии, соответствующие геологическим границам (контактам пород архейско-протерозойского кристаллического фундамента, венд-кембрийского осадочного чехла, мезозойских интрузивов), на космосхеме проявлены в различной степени. К северу от ручья Кыллах хорошо дешифрируются пластовые интрузивы. К сожалению, на большей части территории расшифровать структурные линии, отражающие геологические границы, не удается из-за интенсивной залесенности.

Проведено дешифрирование космосхем, их наложение, разбраковка и сопоставление с основными элементами геологического строения исследуемой территории, а также с данными региональных геофизических съемок.

Установленные при космодешифрировании элементы строения северной части площади Лебединского рудно-россыпного узла в комплексе с геофизическими и геохимическими данными были учтены при планировании геологических и шлиховых маршрутов, заложении горных выработок и скважин, а также при построении макета структурно-формационной основы прогнозирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАВЕРОЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

По результатам космодешифрирования в пределах участка Мятёжний отчетливо прослеживается полукольцевая морфоструктура (силл ортофиоров, представленных плагиоклаз-калишпат-кварцевыми агрегатами с крупными вкрапленниками К-Na полевого шпата

и интенсивным проявлением сульфидной минерализации), располагающаяся вдоль ручья Золотой. Этот полукольцевой объект пересекает линейная зона разломов СЗ простирания, предположительно контролирующая мощную дайку сиенит-порфиоров. Силл ортофиоров так же нарушен многочисленными разломами меридионального, СВ и СЗ простирания, которые прослеживаются и за пределами интрузива.

С целью заверки выделенных форм в период полевых работ «ФГУП ЦНИГРИ» в 2013–2015 гг. (Иванов и др., 2016) были проведены геологические маршруты в пределах Малокуранского, Колтыкон-Самодумовского, Таежного и Верхнекокутского рудных полей. Решались задачи: геологического обследования территории, выявления и прослеживания выделенных на дистанционной основе линейных структур, опробования потенциально золотоносных крутопадающих разрывных структур, зон гидротермально-метасоматически измененных пород, а также зон контактов мезозойских щелочных интрузивов и выбор мест заложения горных выработок.

В геологических маршрутах по зонам, выявленным на дистанционной основе прогнозирования, систематически наблюдались свалы жильного кварца и ожелезненных, калишпатизированных, пиритизированных метасоматически-измененных пород. В частности, на Колтыкон-Самодумовском рудном поле и повсеместно на флангах зоны Мятёжной, отмечались свалы минерализованных ортофиоров.

В ходе маршрутов отбирались штучные пробы массой 1–2 кг и пробы-протоочки 7–15 кг. Сколки использовались для изготовления шлифов и аншлифов, для проведения анализов пробирно-атомно-абсорбционным методом на золото и атомно-абсорбционным – на серебро. Отбор проб-протоочек проводился для изучения минерального состава руд и метасоматически-измененных пород, а также для получения материала для специализированных минералогических и изотопно-геохимических исследований. Отобранные пробы дробились вручную до фракции –0.074 мм, после чего промывались на лотке до серого шлиха.

На основании положительных признаков оруденения по зоне Мятёжной задана бульдозерная канава. Канавой на значительном протяжении вскрыта пластовая интрузия ортофиоров, в низах переходящая в роговообманковые сиенит-порфиры, и далее контактирующая с венд-кембрийскими доломитами (рис. 5).

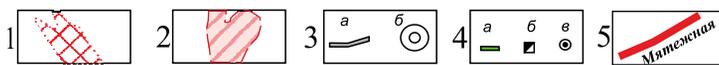
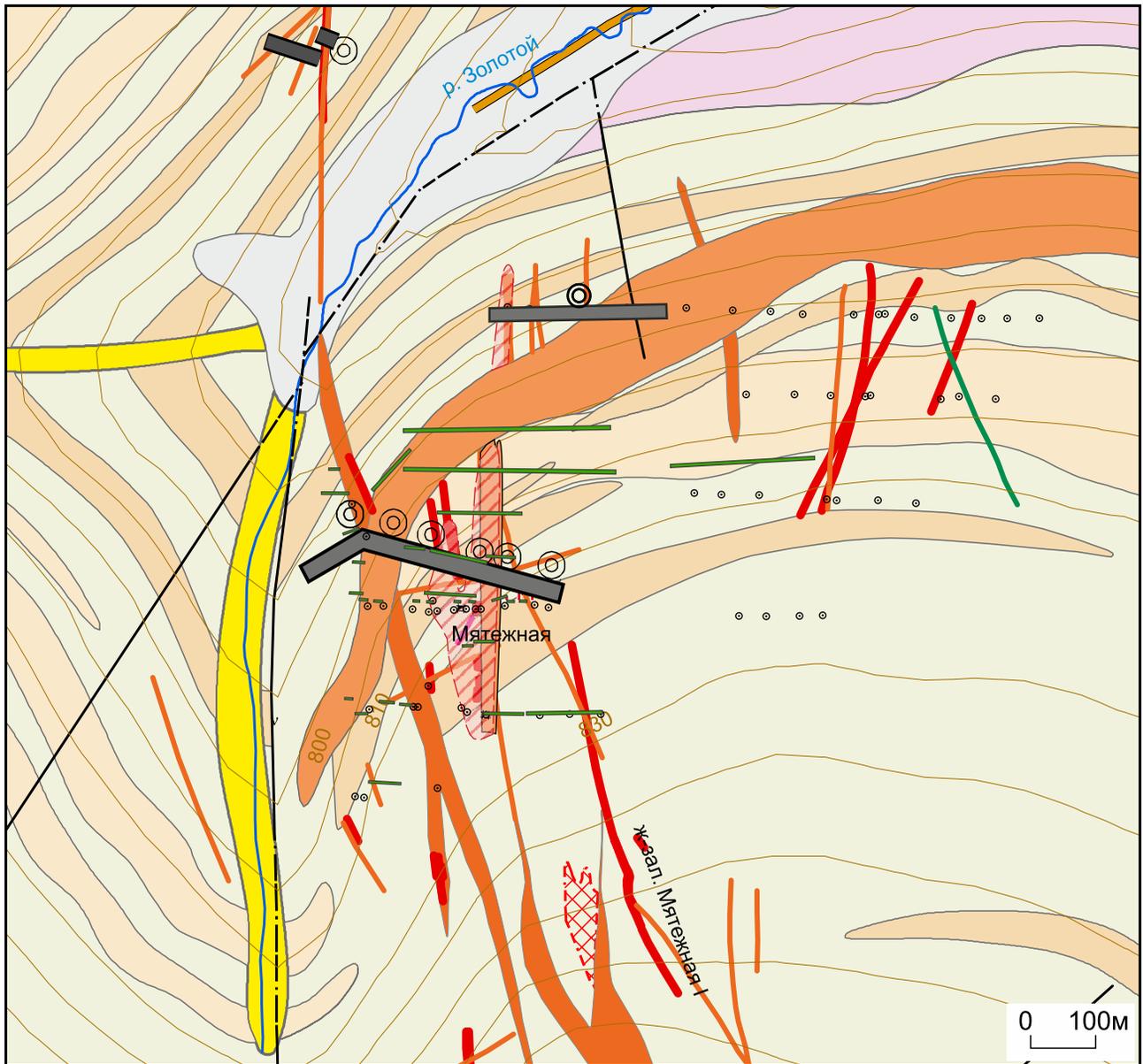


Рис. 5. Схематический геологический план поискового участка Мятeжный. 1 — магне-si-альные и известково-магне-si-альные скарны; 2 — крутопадающие золоторудные зоны; 3 — каналы (а) и скважины (б) поисковых работ ФГУП ЦНИГРИ 2013–2015 гг.; 4 — каналы (а), шурфы (б), скважины (е) предшественников; 5 — разрывные нарушения: а — установленные, б — предполагаемые под рыхлыми отложениями; остальные условные обозначения см. на рис. 4.

Разрез осложняется двумя мощными секущими дайками сиенит-порфиров и маломощными крутопадающими зонами дробления.

Рудная минерализация в ортофирах представлена вкраплениями окисленного пирита, пирит-кварцевыми маломощными прожилками, гематитизацией в виде гнезд чешуйчатого гематита. В дайке сиенит-порфиров, вскрытой ближе к восточному окончанию канала, отмечаются

минерализованные фрагменты базитовых даек (лампрофиров). Зоны дробления часто выполнены рыхлым бурым карбонат-кварц-лимонитовым материалом.

По данным бороздowego опробования выделяются несколько минерализованных интервалов: 1) непосредственно сам силл ортофиров с параметрами — 8 м и средним содержанием золота 0.72 г/т, 25 м — и средним содержанием золота 2.87

г/т, при максимальном 40.3 г/т в залежеобразном рудном теле у контакта с доломитами; 2) субвертикальные зоны дробления с параметрами — мощность 6 м, среднее содержание золота 1.77 г/т; мощность 3.2 м, среднее содержание золота — 8.05 г/т (максимальное 24.2 г/т); 3) дайка сиенит-порфиоров — мощность 34 м, среднее содержание золота 2.1 г/т.

Серией профилей неглубоких (до 150 м) скважин зона прослежена на глубину. Это позволило в комплексе с данными опробования поверхности и геофизическими данными оценить прогнозные ресурсы золота данной рудной зоны согласно действующим требованиям (Методические рекомендации ..., 2007): 4.59 т по категории P_1 и — с экстраполяцией за внешние контуры оценочных выработок на флангах зоны — 8.2 т по категории P_2 (Иванов и др., 2016).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структура и геолого-геохимические особенности пространственного развития оруденения зоны Мятёжной нуждаются в дополнительных исследованиях как с поверхности, так и на глубину, несмотря на, казалось бы, достаточную ее изученность ранее проведенными поисковыми работами. По данным космодешифрирования дайка сиенит-порфиоров прослеживается на СЗ и ЮВ. Перспективы выявления нового, крупного рудного тела на флангах зоны Мятёжной достаточно велики; более того, аналогичные минерализованные радиальные разломы, проявленные в виде крутопадающих зон дробления, прослеживаются и на продолжении дайки сиенит-порфиоров.

Комплекс использованных методов, основанный на космодешифрировании разномасштабных снимков, показал свою эффективность для поисково-оценочных работ на коренное золото и может быть рекомендован для применения в подобных работах (включая и другие твердые полезные ископаемые) для закрытых территорий складчатых и платформенных областей востока России.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ № 18–05–70041.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов В.А. Глубинное строение Центрально-Алданского района. Владивосток: Дальнаука, 1985. 180 с.
Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях / Под ред. И.Н. Томсона. М.: Наука, 1979. 164 с.

Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А.В. Перцова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.

Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Дорожкина Л.А. Золоторудные и золото-урановые месторождения Центрального Алдана // Крупные и суперкрупные месторождения полезных ископаемых в 3-х томах (ред. Лаверов Н.П., Сафонов Ю.Г.). Т. 2: Стратегические виды рудного сырья. М.: Изд-во ИГЕМ РАН, 2006. С. 215–240.

Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линейных элементов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 1. С. 47–56.

Иванов А.И., Вартамян С.С., Черных А.И. Состояние перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов, золота, меди, свинца, цинка Российской Федерации (по результатам работ ФГУП ЦНИГРИ за 2012–2015 гг.) // Отечественная геология. 2016. № 5. С. 31–44.

Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линейментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.

Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. 1. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 392 с.

Кукушкин К.А., Терехов А.В., Молчанов А.В., Козлов Д.С., Соловьев О.Л., Титов Д.Ю., Хорохорина Е.И. Геология и рудоносность Угуйской и Олдонгинской структур Чаро-Олекминского блока Алданского щита (по материалам ГДП-200) // Руды и металлы. 2018. № 3. С. 31–39.

Максимов Е.П., Середин В.В., Томсон И.Н., Прозоров Ю.И. Орогенная структура Центрального Алдана и связь с ней магматизма и оруденения // Разломы и эндогенное оруденение древних платформ. М.: Наука, 1982. С. 121–138.

Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное. М.: ФГУП ГКЗ, 2007. 74 с.

Молчанов А.В., Терехов А.В., Шатов В.В., Белова В.Н., Радьков А.В., Соловьев О.Л., Степунина М.А. Лебединский золоторудный узел (особенности геологического строения, метасоматиты и оруденение) // Региональная геология и металлогения. 2013. № 55. С. 99–110.

Моралев В.М., Пржиялговский Е.С., Шеремет О.Г. Цифровая обработка линейментной сети, выявленной по космическим снимкам, и прогноз золотой минерализации в системе зеленокаменных поясов // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 4. С. 45–58.

Некрасов Е.М. Поиск «слепых» золоторудных тел жильного типа // Руды и металлы. 2018. № 3. С. 55–71.

Перцов А.В., Гальперов Г.В., Смирнова Т.Н., Антипов В.С. Прогнозно-поисковые модели крупнейших рудных объектов на основе материалов дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 6. С. 96–107.

Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Дистанционные методы геологических исследований, прогнозирования и поисков месторождений полезных

ископаемых: учебное пособие для вузов. Томск: STT, 2012. 304 с.

Разработка систем космических аппаратов. Ред. Фортескую П., Старк Д., Суинерд Г.М.: Альпина Паблишер, 2018. 766 с.

Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Перспективы алмазности юго-восточного сектора Сибирской платформы по материалам дистанционного зондирования // Руды и металлы. 2013. № 2. С.13–17.

Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В. Опыт использования дистанционной информации при оценке золотоносного потенциала Восточных Саян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 1. С. 386–390.

Суворов А.И., Пейве А.В. Разломы и горизонтальные движения платформенных областей. М.: Наука, 1977. 43 с.

Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования

эндогенного оруденения // Сов. геология. 1968. № 10. С. 6–20.

Трифонов В.Г. 30 лет геологических исследований с помощью космических средств: тенденции, достижения, перспективы // Исследование Земли из космоса. 2010. № 1. С. 27–39.

Фасталович А.И., Петровская Н.В. Структура рудного поля месторождения Лебединого // Тр. НИГРИЗолото. 1940. № 15. С. 3–31.

Graham G.E., Kokaly R.F., Kelley K.D. et al. Application of imaging spectroscopy for mineral exploration in Alaska: a study over porphyry Cu deposits in the Eastern Alaska Range // Econ. Geol. 2018. V. 113. № 2. P. 489–510. doi:10.5382/econgeo.2018.4559

Yousefi T., Aliyari F., Abedini A., Calagari A.A. Integrating geologic and Landsat-8 and ASTER remote sensing data for gold exploration: a case study from Zarshuran Carlin-type gold deposit, NW Iran // Arabian J. Geosciences. 2018. V. 11:482. P. 1–19. doi.org/10.1007/s12517-018-3822-x

Application of the Data of Space Decoding for the Study of Ore-controlling Structures of The Lebedinsky Ore-placer Cluster, South Yakutia

D. N. Kuprikov^{1,2}, I. V. Vikentyev²

¹ LLC “GeoSolutions”, Moscow

² Institute of Geology of ore deposits, Petrography,

Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Moscow

New data about the ore-controlling structures of the Lebedinsky ore-placer cluster have been obtained on the basis of space decoding. A stadiial analysis of the territory from the ore cluster scale to the ore body (the Myatezhnaya zone) was carried out, as a result of which the position of this zone was clarified. The major ore-hosting structures were identified by space images decoding, and the local structures were revealed by detailed study, and these latter were certified in the course of geological routes with sampling identified for detailed study. Based on the positive results of testing and identification of the mineralization accompanying metasomatic zones were laid mine workings – a trench and several drill holes. As a result of the mining operations, the presence of the ore zone was confirmed; the forecast gold resources for the categories P₁ and P₂ were tested.

Keywords: space decoding, remote base, focal-dome igneous forms, linear fault zones, the Myatezhnaya zone, gold

REFERENCES

Abramov V.A. Glubinnoe stroenie Tsentral'no-Aldanskogo raiona [The deep structure of the Central Aldan region]. Vladivostok: Dal'nauka, 1985. 180 p. (in Russian).

Aerokosmicheskie metody geologicheskikh issledovaniy / Pod red. A.V. Pertsova [Aerospace methods of geological research / A.V. Pertsov (ed.)]. SPb.: VSEGEI, 2000. 316 p. (in Russian).

Analiz kosmicheskikh snimkov pri tektonomagmaticheskikh i metallogenicheskikh issledovaniyakh / pod red. I.N. Tomsona [Analysis of satellite images during tectonomagmatic and metallogenic studies / I.N. Thomson (ed.)]. M.: Nauka, 1979. 164 p. (in Russian).

Boitsov V.E., Pilipenko G.N., Dorozhkina L.A. Zolotorudnye i zoloto-uranovye mestorozhdeniya Tsentral'nogo Aldana // Krupnye i superkrupnye mestorozhdeniya poleznykh

iskopaemykh v 3-kh tomakh (red. Laverov N.P., Safonov Yu.G.). T. 2: Strategicheskie vidy rudnogo syr'ya [Gold and gold-uranium deposits of Central Aldan // Large and superlarge mineral deposits in 3 volumes (ed. Laverov N.P., Safonov Yu.G.). V. 2: Strategic types of ore raw materials]. M.: Izd-vo IGEM RAN, 2006. P. 215–240. (in Russian).

Bondur V.G., Zverev A.T. Mekhanizmy formirovaniya lineamentov, registriruemykh na kosmicheskikh izobrazheniyakh pri monitoringe seismoopasnykh territorii [Mechanisms of formation of lineaments recorded on space images when monitoring seismic areas] // Issled. Zemli iz kosmosa. 2007. № 1. P. 47–56. (in Russian).

Fastalovich A.I., Petrovskaya N.V. Struktura rudnogo polya mestorozhdeniya Lebedinogo [The structure of the ore field deposits Lebedinoe] // Tr. NIGRIZoloto. 1940. № 15. P. 3–31. (in Russian).

- Graham G.E., Kokaly R.F., Kelley K.D. et al.* Application of imaging spectroscopy for mineral exploration in Alaska: a study over porphyry Cu deposits in the Eastern Alaska Range // *Econ. Geol.* 2018. V. 113. № 2. P. 489–510. doi:10.5382/econgeo.2018.4559
- Ivanov A.I., Vartanyan S.S., Chernykh A.I.* Sostoyanie perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoi bazyalmazov, zolota, medi, svintsa, tsinka Rossiiskoi Federatsii (po rezul'tatam rabot FGUP TSNIGRI za 2012–2015gg.) [The state of development prospects for the mineral resource base of diamonds, gold, copper, lead, zinc of the Russian Federation (according to the results of the FSUE TSNIGRI for 2012–2015)] // *Otechestvennaya geologiya.* 2016. № 5. P. 31–44. (in Russian).
- Kats Ya.G., Poletaev A.I., Rumyantseva E.F.* Osnovy lineamentnoi tektoniki [Basics of Lineament Tectonics]. M.: Nedra, 1986. 144 p. (in Russian).
- Kreiter V.M.* Poiski i razvedka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. T. 1 [Prospecting and exploration of mineral deposits. V. 1]. M.: Gosgeoltekhizdat, 1960. 392 p. (in Russian).
- Kukushkin K.A., Terekhov A.V., Molchanov A.V., Kozlov D.S., Solov'ev O.L., Titov D. Yu., Khorokhorina E.I.* Geologiya i rudonosnost' Uguiskoi i Oldongsinskoi struktur Charo-Olekminskogo bloka Aldanskogo shchita (po materialam GDP-200) [Geology and ore content of the Ugui and Oldongsin structures of the Charo-Olekminsky block of the Aldan shield (based on materials of the PDS-200)] // *Rudy i metally.* 2018. № 3. P. 31–39. (in Russian).
- Maksimov E.P., Seregin V.V., Tomson I.N., Prozorov Yu.I.* Orogennaya struktura Tsentral'nogo Aldana i svyaz' s nei magmatizma i orudneniya [The orogenic structure of Central Aldan and the connection with it of magmatism and mineralization] // *Razlomy i ehndogennoe orudnenie drevnikh platform.* M.: Nauka, 1982. P. 121–138. (in Russian).
- Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdenii i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Zoloto rudnoe [Guidelines for the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals. Gold ore]. M.: FGUP GKZ, 2007. 74 s. (in Russian).
- Molchanov A.V., Terekhov A.V., Shatov V.V., Belova V.N., Rad'kov A.V., Solov'ev O.L., Stepunina M.A.* Lebedinskii zolotorudnyi uzel (osobennosti geologicheskogo stroeniya, metasomatity i orudnenie) [Lebedinsky gold site (geological features, metasomatites and mineralization)] // *Regional'naya geologiya i metallogeniya.* 2013. № 55. P. 99–110. (in Russian).
- Moralev V.M., Przhivalgovskii E.S., Sheremet O.G.* Tsifrovaya obrabotka lineamentnoi seti, vyyavlennoi po kosmicheskim snimkam, i prognoz zolotoi mineralizatsii v sisteme zelenokamennykh po yasov [Digital processing of the lineament network detected by satellite images and the forecast of gold mineralization in the system of greenstone belts] // *Issled. Zemli iz kosmosa.* 1995. № 4. P. 45–58. (in Russian).
- Nekrasov E.M.* Poisk «slepykh» zolotorudnykh tel zhil'nogo tipa [Search for "blind" gold ore veins of the vein type] // *Rudy i metally.* 2018. № 3. P. 55–71. (in Russian).
- Pertsov A.V., Gal'perov G.V., Smirnova T.N., Antipov V.S.* Prognoznno-poiskovye modeli krupneishikh rudnykh ob'ektov na osnove materialov distantsionnogo zondirovaniya [Predictive search models of the largest ore objects based on remote sensing materials] // *Issled. Zemli iz kosmosa.* 1994. № 6. P. 96–107. (in Russian).
- Potseluev A.A., Anan'ev Yu.S., Zhitkov V.G.* Distantsionnye metody geologicheskikh issledovaniy, prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: uchebnoe posobie dlya vuzov [Remote methods of geological research, forecasting and prospecting of mineral deposits: a textbook for universities]. Tomsk: STT, 2012. 304 p. (in Russian).
- Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov [Development of spacecraft systems]. Ed. Fortescue P., Stark J.M., Swinerd G. Al'pina Publisher, 2018. 766 p. (in Russian).
- Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D.* Perspektivy almazonosnosti yugo-vostochnogo sektora Sibirskoi platformy po materialam distantsionnogo zondirovaniya [Prospects for diamond content of the southeastern sector of the Siberian platform based on remote sensing materials] // *Rudy i metally.* 2013. № 2. P. 13–17. (in Russian).
- Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D., Gromtsev K.V.* Opyt ispol'zovaniya distantsionnoi informatsii pri otsenke zolotonosnogo potentsiala Vostochnykh Sayan [Experience of using remote information in assessing the gold-bearing potential of the Eastern Sayans] // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2008. V. 5. № 1. P. 386–390. (in Russian).
- Suvorov A.I., Peive A.V.* Razlomy i gorizontal'nye dvizheniya platformnykh oblastei [Rift and horizontal movement of platform areas]. M.: Nauka, 1977. 43 p. (in Russian).
- Tomson I.N., Favorskaya M.A.* Rudokontsentriruyushchie struktury i printsipy lokal'nogo prognozirovaniya ehndogennoego orudneniya [Ore-concentrating structures and principles of local prediction of endogenous mineralization] // *Sov. geologiya.* 1968. № 10. P. 6–20. (in Russian).
- Trifonov V.G.* 30 let geologicheskikh issledovaniy s pomoshch'yu kosmicheskikh sredstv: tendentsii, dostizheniya, perspektivy [30 years of geological research using space tools: trends, achievements, prospects] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa.* 2010. № 1. P. 27–39. (in Russian).
- Yousefi T., Aliyari F., Abedini A., Calagari A.A.* Integrating geologic and Landsat-8 and ASTER remote sensing data for gold exploration: a case study from Zarshuran Carlin-type gold deposit, NW Iran // *Arabian J. Geosciences.* 2018. V. 11:482. P. 1–19. doi.org/10.1007/s12517-018-3822-x