

УДК 550.812:553.073

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ КРУПНООБЪЕМНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Мансуров Ринат Халитович,
rinman81@bk.ru

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов,
Россия, 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, к. 1.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения и вовлечения в производство новых крупнообъемных золоторудных месторождений, что будет способствовать образованию и долгосрочному развитию целых регионов РФ. Важным аспектом является разработка новых и совершенствование существующих методов поисков золоторудных месторождений.

Целью исследования является апробация методики поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах применительно к условиям Енисейского кряжа, в частности, в пределах малоизученной восточной части этого региона, а также выделение прогнозно-поисковых критериев и признаков вновь выявленного рудопроявления Буреминское и их сопоставление с критериями и признаками известного крупнообъемного золото-сульфидного Олимпиаднинского месторождения.

Методы исследования: анализ литературных и фондовых данных; прогнозные построения на предмет выделения перспективных поисковых участков на выявление крупнообъемного золотого оруденения; разработка новых и совершенствование существующих методов и методических приемов поисков золоторудных месторождений; применение этих методов (литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния разных уровней разреза элювиально-делювиальных отложений, шлиховое и сколовое (точечное) опробование) на практике; лабораторно-аналитические исследования – полуквантитативный спектральный анализ на 26 элементов, химико-спектральный анализ на золото.

Результаты. Вновь выявлена рудоконтролирующая зона складчато-разрывных деформаций рудопроявления Буреминское, приуроченная к зоне разрывных нарушений северо-северо-западной ориентировки, опережающих к Ишимбинской системе разломов, в узле их сочленения с разрывами СВ направления. Комплекс шлихового и литохимического по вторичным ореолам рассеяния опробования надкоренного информативного малосмещенного горизонта элювиально-делювиальных отложений позволил выявить в пределах зоны рассланцевания несколько золотоносных минерализованных зон. Последние представляют собой зоны-залежи рассеянной вкрапленной золото-сульфидной минерализации, локализованные в интенсивно железо-магнезиально-карбонатизированных углеродсодержащих карбонат-кварц-серицитовых сланцах удерейской свиты сухопитской серии среднего рифея. Для золотой минерализации рудопроявления Буреминское выделены прогнозно-поисковые критерии и признаки. По ряду из них наиболее близким аналогом рудопроявления являются первичные вкрапленные золото-сульфидные руды Олимпиаднинского месторождения, с которым проведено сопоставление основных геологических элементов рудопроявления Буреминское.

Ключевые слова:

Методы поисков золоторудных месторождений, Енисейский кряж, крупнообъемное вкрапленное золото-сульфидное оруденение, рудопроявление Буреминское, Олимпиаднинское месторождение, прогнозно-поисковые критерии и признаки.

Введение

В настоящее время на территории РФ известно множество золоторудных месторождений и проявлений, основная часть которых локализуется в углеродисто-карбонатно-терригенных комплексах складчатых поясов в обрамлении Сибирской платформы [1–4]. Следует констатировать, что большинство золоторудных объектов выявлено еще в советский период. Этот факт обусловлен главным образом тем, что известные месторождения и проявления коренного золота, как правило, приурочены к крупным рудно-россыпным районам и узлам с развитой инфраструктурой, исследуемым еще с XIX в. Примером этого могут служить Северо-Енисейский на Енисейском кряже (месторождения Советское, Эльдорадо, Олимпиаднинское, Благодатное и др.) и Бодайбинский в Байкало-Патомской провинции (месторождения Сухой Лог, Вернинское, Высочайшее, Чертово Коряго и др.) рудные районы [5, 6]. Сегодня особый интерес вызывают вопросы прогноза и поисков крупнообъемных месторождений золота, на базе которых могут осваиваться и долгосрочно развиваться целые регионы [7].

Объект исследования

Под руководством автора настоящей работы был проведен комплекс прогнозно-поисковых работ на перспективном участке Буреминский, расположенном на севере Мотыгинского района Красноярского края в 40 км севернее пгт. Южно-Енисейский. Предшествующими работами в пределах этого участка была проведена геологическая съемка масштаба 1:200000, а также поисково-разведочные работы на россыпи золота. В пределах перспективного участка известно несколько мелких и средних по продуктивности россыпей золота, среди которых основными являются россыпи долин рр. Бол. Бурема и Бол. Орнакул. Сведения о коренной золотоносности района работ отсутствуют. Лишь по данным В.С. Станкевича и др. при оценке россыпной золотоносности вышеупомянутых водотоков установлено несколько пунктов золотой минерализации, связанной с рассеянной вкрапленностью сульфидов (1988ф).

На этапе прогноза, помимо наличия промышленной россыпной золотоносности участка работ, учитывались такие факторы, как структурно-тек-

тоническая позиция объекта исследований, благоприятный литолого-стратиграфический уровень, степень метаморфизма, потенциально рудоносные гидротермально-метасоматические преобразования, данные геофизических исследований и др.

В металлогеническом плане участок расположен в ангарской части Енисейского кряжа, на северо-восточном фланге Южно-Енисейского рудного района, и входит в состав Тужимского рудного узла (рис. 1). Авторская оценка прогнозных ресурсов категории P_3 рудного узла составляет 50 т коренного золота (А.А. Стороженко и др., 2004ф).

Структурно-тектоническая позиция определяется положением в зоне сочленения двух крупных структур Енисейского кряжа – Центрального антиклинория и Ангаро-Питского синклинория, восточнее зоны Ишимбинской системы рудоконтролирующих разломов. Непосредственно участок работ приурочен к восточной приадрерной части Ишимбинской антиклинали. В пределах участка

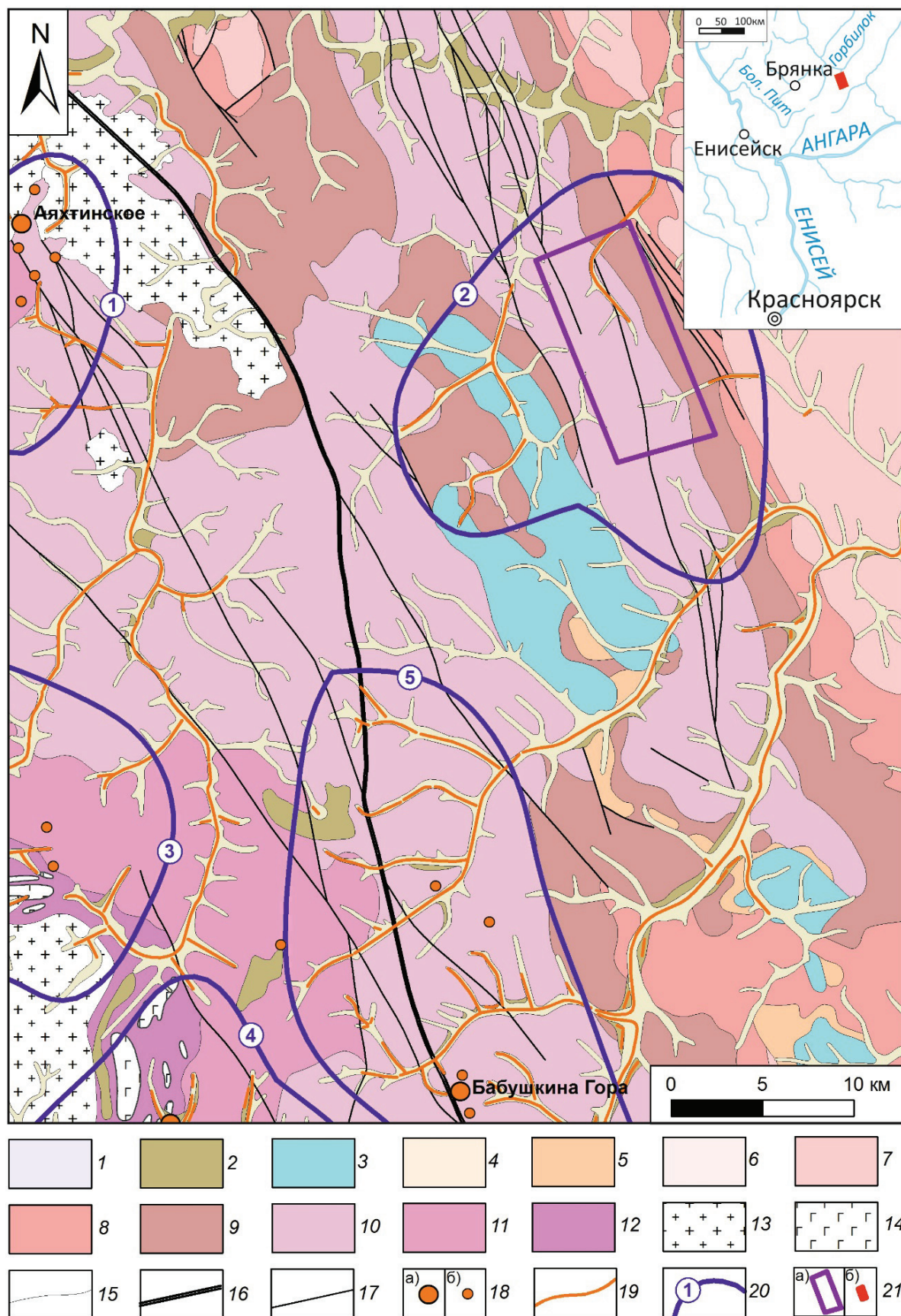
устанавливается крупный разлом ССЗ ориентировки, вероятно, являющийся оперяющим к Ишимбинской зоне разломов.

В геологическом строении района принимают участие дислоцированные и в различной степени метаморфизованные углеродсодержащие карбонатно-терригенные породы верхнего (шунтарская (R_{1sn}), потоскуйская (R_{3pt}) свиты) и среднего (аладьянская (R_{2al}), карточки (R_{2kr}), удерейская (R_{2ud}), горбилоская (R_{2gr}) свиты) рифея. Площадь работ амагматична – ближайший интрузивный массив выходит на поверхность в 16 км западнее участка.

Участок Буреминский приурочен к зоне развития хлорит-серицитовая субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, выраженной в развитии зон рассланцевания с проявлением хлоритизации, мусковитизации, серицитизации и вновь образованных пирита, сидерита и других низкотемпературных минералов. Хлорит-

Рис. 1. Обзорная схема северо-восточной части Южно-Енисейского рудного района (с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»): 1 – четвертичные отложения; 2–12 – стратифицированные образования: 2 – неоген-палеогеновые отложения: галечники, пески, глины (кирнаевская (N_{1kr}), бельская ($P-N_{1bl}$), мурожинская (P_{1mr}) свиты); 3 – кембрий-вендские карбонатные отложения: доломиты, известняки, мергели (эвенкийская серия (E_{2-ev}), лебяжинская ($V-E_{1lb}$), иркинеевская (E_{1ir}), островная ($V-E_{1os}$) свиты); 4, 5 – вендские карбонатно-терригенные отложения: 4 – чапская серия: песчаники, алевриты, доломиты (немчанская (V_{nm}), подьемская (V_{pd}), суворовская (V_{sv}) свиты); 5 – тасеевская серия: песчаники с прослоями алевритов, аргиллитов (мошаковская (V_{ms}), чистяковская (V_{cv}), аleshинская (V_{al}) свиты); 6–9 – верхнерифейские углеродистые карбонатно-терригенные отложения: 6 – чингасанская серия: песчаники, алевро-песчаники, алевриты, известняки (чивидинская (R_{3cv}), карьерная (R_{3kr}), лопатинская (R_{3lp}) свиты); 7 – ослянская серия: известняки глинистые, алевро-сланцы, песчаники (дашкинская (R_{3ds}), нижнеангарская (R_{3na}) свиты); 8 – киргитейская серия: сланцы известковисто-глинистые (мокринская (R_{3mk}), рыбинская (R_{3rb}), бореминская (R_{3br}), удоронская (R_{3ud}) свиты); 9 – тунгусикская серия: филлиты, сланцы углеродистые, метаалевриты (шунтарская (R_{3sn}), потоскуйская (R_{3pt}) свиты); 10 – среднерифейские углеродсодержащие вулканогенно-карбонатно-терригенные отложения: сухопитская серия: темно-серые, черные, серо-зеленые сланцы, филлиты, метапесчаники, метаизвестняки (аладьянская (R_{2al}), карточки (R_{2kr}), удерейская (R_{2ud}), горбилоская (R_{2gr}) свиты); 11 – нижнерифейские углеродсодержащие карбонатно-терригенные отложения: филлиты, сланцы, кварцитовидные песчаники, известняки (кординская (R_{1kd}) свита); 12 – нижнепротерозойские карбонатно-терригенные отложения: тейская серия: кристаллические сланцы, кварциты, мрамора (пенченгинская свита (PR_{3pn})); 13, 14 – интрузивные образования: 13 – плагиогранодиориты (татарско-аяхтинский (R_{3ta}) комплекс); 14 – ортоамфиболиты, метагabbро (индыглинский (R_{1i}) комплекс); 15 – геологические границы; 16, 17 – разрывные нарушения: 16 – ось зоны Ишимбинского глубинного разлома, 17 – остальные разрывные нарушения; 18 – месторождения (а) и проявления (б) коренного золота; 19 – россыпи золота; 20 – контуры золоторудно-россыпных узлов: 1) Аяхтинский, 2) Тужимский, 3) Верхне-Пенченгинский, 4) Партизанский, 5) Ишимбинско-Петропавловский; 21 – контур рудопроявления Буреминское: а) на схеме, б) на врезке

Fig. 1. Overview scheme of northern-eastern parts of the Yenisei ridge (compiled using the data of «Krasnoyarskgeolsemka»): 1 are the quaternary sediments; 2–12 are the stratified formations: 2 are the Neogene-Paleogene deposits: pebble, sands, clay (kirnaevskaya (N_{1kr}), belskaya ($P-N_{1bl}$), murozhninskaya (P_{1mr}) series); 3 are the Cambrian-Vendian carbonate sediments: dolomites, limestones, marls (evenkiyskaya series (E_{2-ev}), lebyazhinskaya ($V-E_{1lb}$), irkineevskaya (E_{1ir}), ostrovnaya ($V-E_{1os}$) series); 4, 5 are the Vendian carbonate-terrigenous sediments: 4 is the chapskaya series: sandstones, siltstones, dolomites (nemchanskaya (V_{nm}), podemskaya (V_{pd}), suvorovskaya (V_{sv}) series); 5 is the taseevskaya formation: sandstones with interlayers of siltstones, mudstones (moshakovskaya (V_{ms}), chistyakovskaya (V_{cv}), aleshinskaya (V_{al}) series); 6–9 are the Upper Riphean carbonate-terrigenous sediments: 6 is the chingasanskaya formation: sandstones, silt-sandstones, siltstones, limestones (chividsinskaya (R_{3cv}), karernaya (R_{3kr}), lopatinskaya (R_{3lp}) series); 7 is the oslyanskaya formation: shale silt, sandstone (dashkinskaya (R_{3ds}), nizhneangarskaya (R_{3na}) series); 8 is the kirgiteyskaya formation: clay-limestone schists (mokrinskaya (R_{3mk}), rybinskaya (R_{3rb}), boreminskaya (R_{3br}), udoronskaya (R_{3ud}) series); 9 is the tungusikskaya formation: phyllites, carbonaceous schists, metalevolites (shuntarskaya (R_{3sn}), potoskuyskaya (R_{3pt}) series); 10 are the Middle Riphean carbonate-volcanogenic-carbonate-terrigenous sediments: sukhopitskaya formation: dark gray, black, gray-green schists, phyllites, metasandstones, metalimestones (aladinskaya (R_{2al}), kartochki (R_{2kr}), udereyskaya (R_{2ud}), gorbilokskaya (R_{2gr}) series); 11 are the Lower-Riphean carbonaceous carbonate-terrigenous sediments: phyllites, schists, quartzite sandstones, limestones (kordinskaya (R_{1kd}) series); 12 are the Lower Proterozoic carbonate-terrigenous sediments: teyskaya series: crystalline schists, quartzites, marbles (penchenginskaya series (PR_{3pn})); 13, 14 are the intrusive formations: 13 are the plagiogranodiorites (tatarsko-ayakhtinski (R_{3ta}) complex); 14 are the orthoamphibolites, metagabbros (indyglinski (R_{1i}) complex); 15 are the geological boundaries; 16, 17 are the faults: 16 is the axis of the Ishimbinsky deep fault; 17 are the other faults; 18 are the gold ore deposits (a) and the ore occurrences (b); 19 are the gold placers; 20 are the contours of gold ore and placer areas: 1) Ayakhtinsky, 2) Tuzhimsky, 3) Verkhne-Penchenginsky, 4) Partizansky, 5) Ishimbinsko-Petropavlovsky; 21 is the contour of the Bureminskoe ore occurrence: a) on the scheme, b) on the inset map



серицитовая субфация является благоприятной для промышленного золотого оруденения крупнообъемного прожилково-вкрапленного типа [8–12]. Крупнообъемное золото-сульфидное оруденение развивается в основном в нижней подзоне хлорит-серицитовой зоны и частично в биотит-хлоритовой, а золотоносные жилы – в верхней подзоне хлорит-серицитовой зоны. По мере усиления степени регионального метаморфизма вмещающих толщ изменяется и общий минеральный состав сульфидов: пиритовая минерализация, резко преобладающая в хлорит-серицитовой зоне, постепенно сменяется пирит-пирротиновой минерализацией в биотит-хлоритовой зоне метаморфизма, затем пирротиновой в более высокотемпературных фациях метаморфизма [8, 9, 13]. В нижней части хлорит-серицитовой зоны в повышенном количестве отмечается арсенопирит. Некоторые из этих благоприятных для оруденения признаков наблюдаются в пределах поискового участка, в частности комплексный состав сульфидной минерализации (пирит, пирротин, арсенопирит).

В пределах участка Буреминский развиты интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования пород, выраженные в прожилково-вкрапленной железо-магнезиальной карбонатазации, (прожилково)-вкрапленной сульфидизации, жильно-прожилковой кварцевой минерализации, мусковитизации (серицитизации).

По данным ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» по структурным особенностям магнитного поля выделяются участки интенсивных гидротермально-метасоматических изменений, отвечающие областям резкого ослабления интенсивности линейных магнитных аномалий и полного градиента магнитного поля – участки разрушения («распада») структуры магнитного поля (рис. 2) [14]. Наиболее вероятно, участки «распада» структуры магнитного поля связаны с разрушением в результате гидротермально-метасоматического преобразования осадочно-метаморфогенного магнетита (горбилокская свита) и пирротина (удерейская свита и др.).

Методика исследования

Поисковые работы на рудное золото в регионе затруднены значительной закрытостью склонов и водоразделов, развитием многолетнемерзлых моховых и гумусово-торфяных слоев значительной мощности. В таких условиях традиционные методы поисков оказываются недостаточно эффективными, поскольку информативный для оценки золотоносности надкоренной малосмещенный элювиально-делювиальный слой перекрыт дальнеприносными отложениями. Стандартное литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния (ВОР) подпочвенного горизонта зачастую не позволяет выявлять аномалии золота и сопутствующих элементов.

В связи с отмеченным фактом при проведении поисковых работ на перспективном участке применялась «Экспрессная методика поисков золото-

рудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах», успешно использованная ФГУП ЦНИГРИ на золоторудных объектах Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций, Лебединского золоторудного узла (Саха-Якутия) и др. [15, 16]. Данная методика позволяет в достаточно короткие сроки с использованием минимального объема горно-буровых работ оценить золотоносность и ресурсный потенциал поисковых участков в ранге рудных полей. Методика основана на комплексировании известных методов и способов изучения делювиально-элювиальных отложений в целях поисков месторождений рудных полезных ископаемых: обломочном (оконтуривание делювиальных свалов рудных тел), копущения, минералогическом (+ минералого-геохимическом), литохимическом [15].

Поисковые работы осуществлялись в несколько последовательных этапов [17].

1. *Шлиховое опробование* аллювиальных отложений в пределах участка Буреминский позволило подтвердить золотоносность рр. Бол. Бурема, Бол. Орнакул, а также установить золотоносность правых притоков р. Бол. Бурема (руч. Успенский и др.), правых и левых притоков р. Бол. Орнакул (руч. Золотой и др.). Золото в россыпях достаточно мелкое (0,1–0,6 мм), слабо окатанное, редко в сростках с кварцем. Наличие мелкого и тонкого золота в россыпях служит косвенным признаком наличия крупнообъемного золото-сульфидного оруденения на участке [18].
2. *Геолого-поисковые маршруты* с литохимическим опробованием (глубина 0,6 м) по опорным профилям по сети 1000×50 м позволили выявить две рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций (рассланцевания) на водоразделе рр. Бол. Бурема, Б. Орнакул и Тужимо (рис. 3), представленные брекчированными, окварцованными, серицитизированными и сульфидизированными породами. В пределах зон рассланцевания весьма интенсивно проявлена прожилково-вкрапленная железо-магнезиальная карбонатазация, наличие которой может являться благоприятным признаком золотоносного процесса [8, 16]. Главная зона имеет мощность от 300 м в северной части до 1500 м в южной; протяженность зоны прослежена на расстояние более 10 км. По данным литохимического опробования зоны рассланцевания выделяются в аномальных геохимических полях (АГХП) по содержаниям более 0,005 г/т золота. Следует подчеркнуть, что для поисков крупнообъемного месторождения выбранная сеть опробования является оптимальной, поскольку крупнообъемное золотое оруденение, как правило, образует протяженные (более 1 км) и широкие (первые сотни и более метров) слабоконтрастные аномальные поля золота во вторичных ореолах рассеяния.

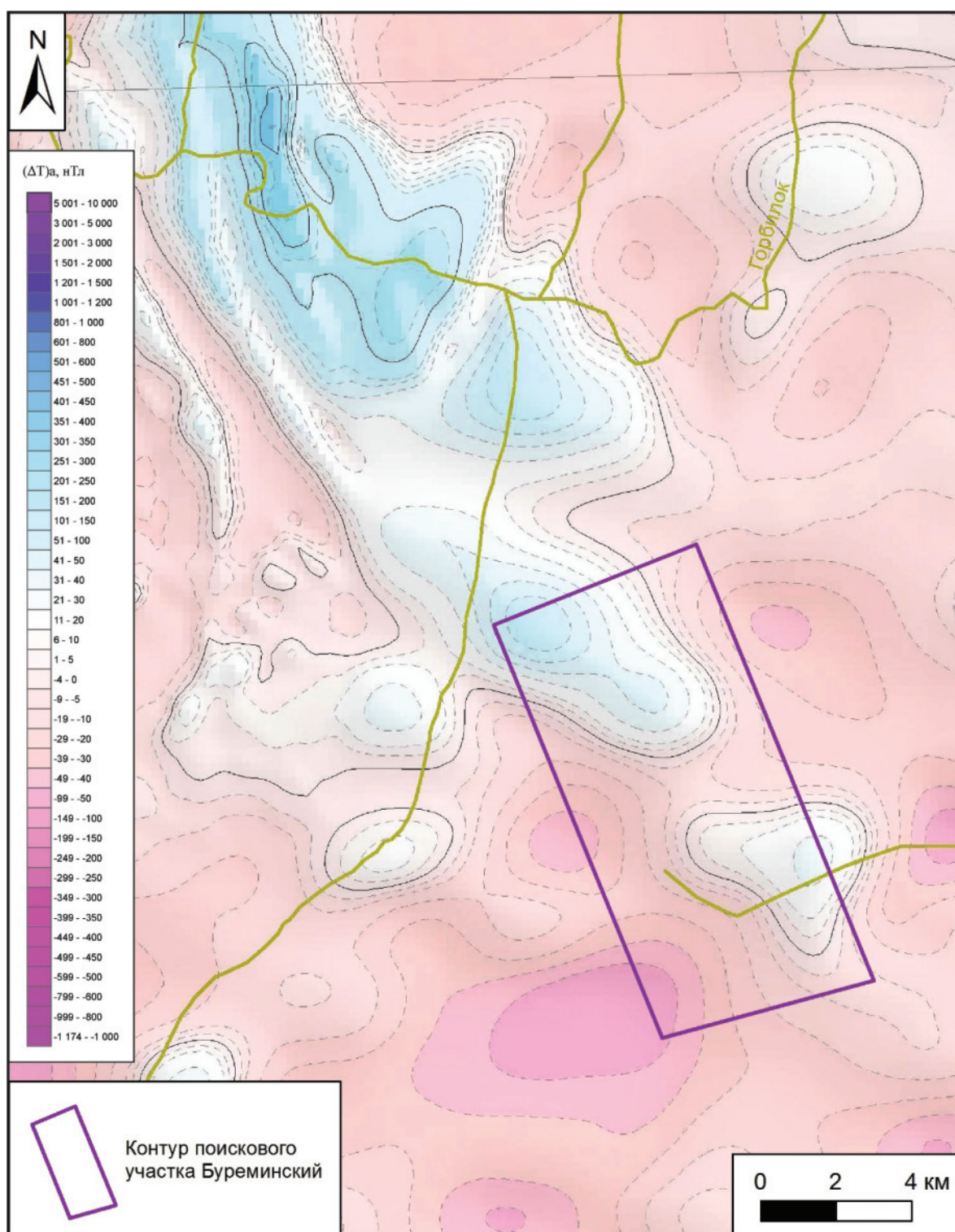
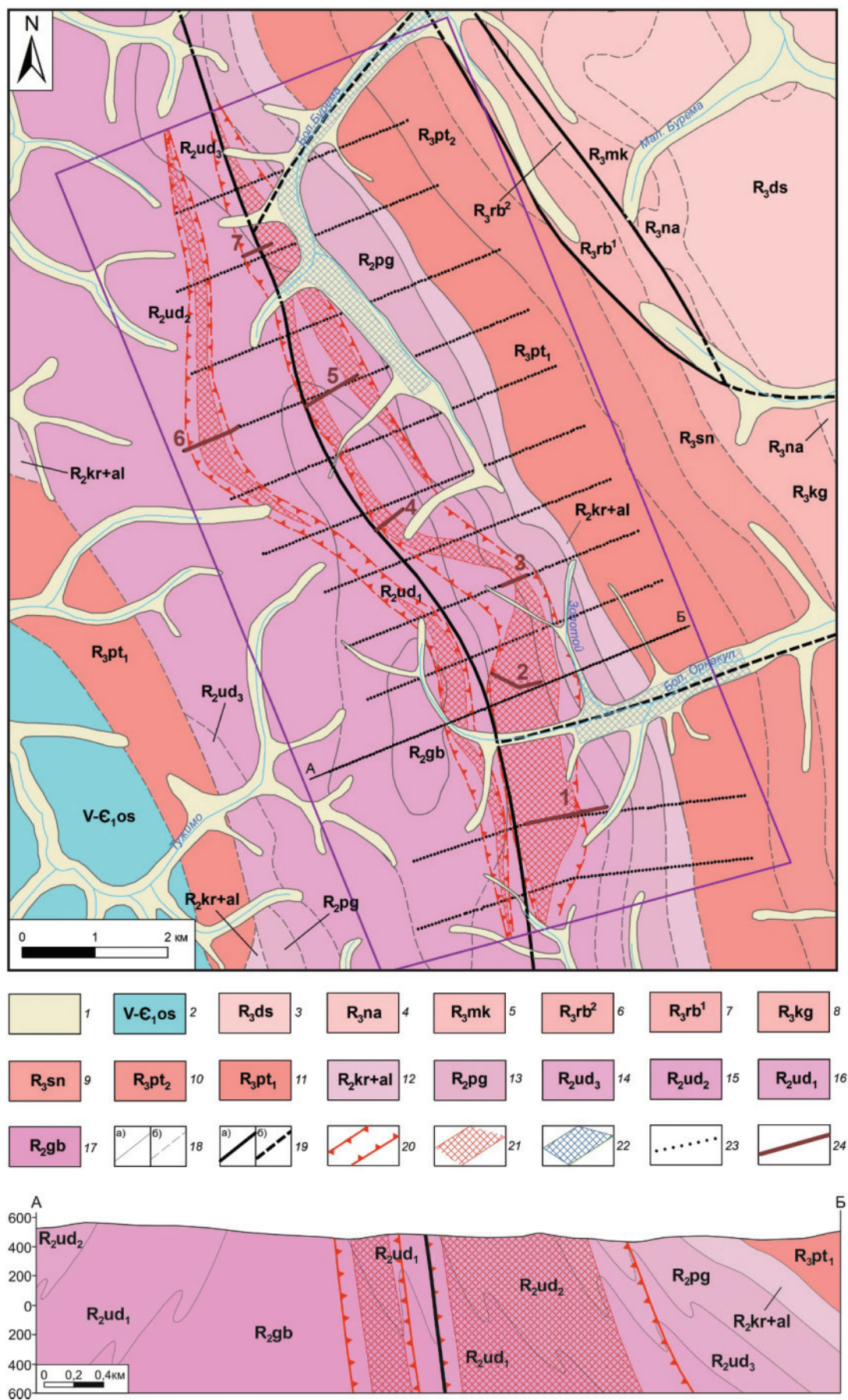


Рис. 2. Карта аномального магнитного поля (с использованием данных ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика»)

Fig. 2. Magnetic anomalous field map (compiled using the data of «NPP VIRG-Rudgeophizika»)



3. С целью локализации потенциально золотоносных минерализованных зон, с учетом данных литохимического опробования по ВОР, участки повышенной (до 5–7 %) сульфидной вкрапленности, сопровождаемые обильной (до 60–70 %) железо-магнезиальной карбонатизацией, были пересечены линиями копушей глубиной 1,0–1,2 м с интервалом 40 м между выработками. Методикой работ предусматривалось комплексное опробование этих выработок: 1) литохимическое опробование по ВОР на глубине 0,6 м; 2) шлиховое и литохимическое опробование по ВОР малосмещенного информативного горизонта в забое копушей на глубине 1,0–1,2 м. Литохимическое опробование по ВОР на разных уровнях элювиально-делювиальных отложений позволяет соотнести полученные данные с целью определения оптимального информативного комплекса методов поисков. Кроме того, производилось сколовое (точечное) опробование гидротермально-измененных минерализованных пород.

В результате работ третьего этапа было локализовано несколько потенциально золотоносных минерализованных зон в разных частях участка, наиболее мощная (более 600 м) и протяженная (более 2 км) среди которых расположена в южной части участка.

Результаты исследования

Главная зона рассланцевания, наиболее вероятно, являющаяся источником промышленных россыпей золота в пределах участка Буреминский, контролируется системой разрывных нарушений ССЗ ориентировки, являющейся оперяющей (с востока) к зоне системы Ишимбинского регионального долгоживущего рудоконтролирующего разлома. Зона рассланцевания приурочена к восточному крылу крупной антиклинали, к ее приагглюмерной части. Падение вмещающих пород в этом участке варьирует от 45 до 85° на восток. По-видимому, важнейшими структурными элементами золотой минерализации являются поперечные СВ разрывные нарушения, к узлам сочленения которых с ССЗ разломом и приурочена золотая минерализация (рис. 3).

Зона рассланцевания локализуется в углеродисто-терригенной толще удерейской свиты среднего рифея (R_{ud}). Восточная граница зоны приурочена к контакту верхнеудерейской подсвиты (углеродсодержащие алевроито-глинистые сланцы) с вышележащими карбонатно-терригенными отложениями погорюйской свиты (R_{pg}). Основными вмещающими породами являются отложения среднеудерейской подсвиты – карбонат-кварц-серицитовые (известково)-алеврито-глинистые углеродсодержащие сланцы. Западная граница зоны приу-

Рис. 3. Геологическая карта и разрез рудопроявления Буреминское: 1 – четвертичные отложения; 2–17 – стратифицированные отложения: 2 – островная свита: известковистые песчаники, доломиты, алевролиты; 3–17 – углеродистые карбонатно-терригенные отложения среднего-верхнего рифея: 3, 4 – ослянская серия: 3 – дашкинская свита: известняки, мергели, аргиллиты, алевролиты, 4 – нижнеангарская свита: аргиллиты, алевролиты, кварцевые песчаники; 5–8 – киргитейская серия: 5 – мокринская свита: хлоритовидные сланцы с прослоями алевролитов, 6, 7 – рыббинская свита: 6 – верхняя пачка: глинисто-хлоритовидные сланцы, 7 – нижняя пачка: глинистые сланцы, 8 – киргитейская серия нерасчлененная: известковистые аргиллиты, известняки; 9–11 – тунгусикская серия: 9 – шунтарская свита: углисто-глинистые сланцы, известняки, 10, 11 – потоскуйская свита: 10 – верхняя подсвита: сланцы алевроито-глинистые, песчаники, 11 – нижняя подсвита: красноцветные глинистые сланцы, алевролиты; 12–17 – сухопитская серия: 12 – свиты аладынская и карточки объединенные: метадоломиты, метаизвестняки, сланцы серицитовые известковистые, 13 – погорюйская свита: сланцы алевроито-глинистые, прослои кварцитовидных песчаников, 14–16 – удерейская свита: 14 – верхняя подсвита: сланцы глинистые филлитизированные, 15 – средняя посвита: сланцы серицит-хлоритовые, алевролиты, 16 – нижняя подсвита: сланцы глинистые, филлитовидные, алевроито-глинистые; 17 – горбилоская свита: кварц-хлорит-серицитовые сланцы, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы; 18 – геологические границы: а) установленные, б) предполагаемые; 19 – разрывные нарушения: а) установленные, б) предполагаемые; 20 – рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций; 21 – золотоносные минерализованные зоны; 22 – промышленные россыпи золота; 23 – точки литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния (глубина 0,6 м); 24 – линии проходки копушей (глубина 1,0–1,2 м, интервал 40 м) с комплексом литохимического по вторичным ореолам рассеяния, шлихового, сколового и штуфного опробования элювиально-делювиальных отложений.

Fig. 3. Geological scheme of the ore occurrence Bureminskoe and geological section: 1 are the quaternary sediments; 2–17 are the stratified formations: 2 is the ostrovnaya series: calcareous sandstones, dolomites, siltstones; 3–17 are the carbonaceous carbonate-terrigenous sediments of the Middle-Upper Riphean: 3, 4 is the oslyanskaya formation: 3 is the dashkinskaya series: limestones, marls, mudstones, siltstones, 4 is the nizhneangarskaya series: argillites, siltstones, quartz sandstones; 5–8 is the kirgiteyskaya formation: 5 is the mokrinskaya series: chloritoid schists with interlayers of siltstones, 6, 7 is the rybinskaya series: 6 is the upper layer: clay-chloritoid schists, 7 is the lower layer: clay schists, 8 is the kirgiteyskaya formation undifferentiated: calcareous mudstones, limestones; 9–11 is the tungusikskaya formation: 9 is the shuntarskaya series: carbonaceous clay schists, limestones, 10, 11 is the potoskuykaya series: 10 is the upper subseries: aleurite-clay schists, sandstones, 11 is the lower subseries: red-colored clay schists, siltstones; 12–17 is the sukhopitskaya formation: 12 are the aladyinskaya and kartochki series combined: metadolomites, metalimestones, sericite calcareous schists, 13 is the pogoryuskaya series: aleurite-clay schists, interlayers of quartzite sandstones, 14–16 is the udereyskaya series: 14 is the upper subseries: clay schists phyllitized, 15 is the middle subseries: sericite-chlorite schists, siltstones, 16 is the lower subseries: clay, phyllitic, aleurite-clay schists; 17 is the gorbiloskaya series: quartz-chlorite-sericite schists, green-gray chlorite-sericite schists; 18 are the geological boundaries: a) determined, b) supposed; 19 are the faults: a) determined, b) supposed; 20 is the ore-controlling zone of fold-discontinuous deformations; 21 are the gold-bearing mineralized zones; 22 are the gold placers; 23 are the points of lithochemical sampling for secondary dispersion halos (depth 0,6 m); 24 are the lines of pit-mining (depth 1,0–1,2 m, interval 40 m) with a complex of lithochemical sampling for secondary dispersion halos, schlich, point and float sampling of eluvial-deluvial sediments

рочена к приядерной части антиклинали, сложенной породами нижнеудерейской подсвиты (филлитовидные углеродсодержащие сланцы).

В пределах зоны рассланцевания широко распространены гидротермально-метасоматические процессы, главным образом сульфидизация и железо-магнезиальная карбонатизация. Последняя, наряду с сульфидизацией, является косвенным признаком, свидетельствующим о наличии золоторудного процесса [16]. Выделяется несколько разновидностей железо-магнезиальной карбонатизации: 1) тонкие прожилки, просечки, ориентированные по сланцеватости, развитые в пределах всей зоны рассланцевания; 2) крупная (до 3 мм) вкрапленность анкерита, распространенная в основном по периферии зоны рассланцевания; 3) тонкая вкрапленность (≤ 1 мм) анкерита, сопутствующая сульфидной минерализации и распространенная преимущественно в пределах наиболее минерализованных участков; содержание вкрапленности достигает 60 %; 4) редкие секущие извилистые кварц-анкерит-сульфидные прожилки; 5) крупнокристаллический сидерит в кварцевых жильно-прожилковых образованиях.

Сульфидная минерализация представлена: 1) крупной (> 5 мм) вкрапленностью кубического сингенетического (?) пирита; 2) тонкой (≤ 1 мм) вкрапленностью сульфидов; от периферии к центру зоны рассланцевания содержание вкрапленности возрастает от 1–2 до 10–12 % и более; 3) редкой линзовидно-просечковидной вытянутой (1×4 мм) вкрапленностью сульфидов (пирротин?, арсенопирит?); 4) тонкопрожилковой сульфидизацией в составе кварц-анкеритовых редких прожилков.

Процессы (прожилково)-вкрапленной железо-магнезиальной и вкрапленной сульфидизации сопутствуют друг другу, образуя широкий (до 1 км) протяженный (до 10 км) ореол. Содержание карбонатов и сульфидов суммарно достигает 50–60 %.

Кварцевая жильно-прожилковая минерализация проявлена весьма неравномерно и наблюдается в основном в пределах наиболее минерализованных участков. Выделяется три разновидности кварцевых жил и прожилков: 1) тонкопрожилковая кварцевая минерализация в составе анкерит-сульфидных прожилков; 2) редкие тонкие (первые см) кварц-сидерит-мусковитовые жилы; 3) разноориентированные кварцевые прожилки, наблюдаемые в прослоях кварцевых песчаников и кварцитов погорюйской свиты. Жилы и прожилки первых двух генераций характерны для зон брекчирования.

В пределах главной зоны рассланцевания выявлена потенциально золотоносная минерализованная зона, приуроченная к углеродсодержащим карбонат-кварц-серицитовым сланцам среднеудерейской подсвиты. Зона характеризуется невыдержанным извилистым строением (рис. 3). Мощность минерализованной зоны варьирует от 150 м в северной части участка, до 1300 м в южной. Прослеженная протяженность достигает 10 км. Пред-

положительно зона характеризуется сложным субсогласным линейно-изометричным штокверкоподобным строением.

Рудоконтролирующая зона складчато-разрывных деформаций и золотоносная минерализованная зона в ее пределах четко проявлены в АГХП. В пределах участка Буреминский выявлено два крупных АГХП золота – в северной и южной частях участка (рис. 4, а). Зона рассланцевания выражена в слабо аномальном поле – ее контур в целом соответствует содержаниям более 0,005 г/т золота в ВОР. Следует отметить отсутствие фоновой золотоносности стратифицированных образований удерейской и горбилоской свит на площади опробования, поэтому вышеуказанные низкие концентрации золота, тем не менее, свидетельствуют о наличии золотоносного процесса.

Золотоносная минерализованная зона выражена в АГХП содержаниями от 0,01 г/т. Аномальные содержания четко прослеживаются в ССЗ направлении, согласно простирацию вмещающих пород (рис. 4, а). Протяженность аномалий превышает 2 км, а мощность варьирует от 50 до 400 м. В пределах золотоносных минерализованных зон выявляются «стержневые» маломощные протяженные ореолы золота в ВОР с содержаниями более 0,1 г/т. Эти ореолы выявлены литохимическим по ВОР опробованием нижнего информативного малосмещенного горизонта элювиально-делювиальных отложений на глубине 1,0–1,2 м.

Среди сопутствующих элементов четко проявлены аномальные поля серебра в ВОР, приуроченные к периферийным участкам АГХП золота (рис. 4, б). Аномалии золота практически в точности совпадают с АГХП марганца (рис. 4, в). Природа последних, наиболее вероятно, связана с интенсивной марганецсодержащей железо-магнезиальной карбонатизацией в пределах минерализованных зон.

По данным шлихового опробования элювиально-делювиальных отложений на глубине 1,0–1,2 м установлено наличие шлихового золота в пределах минерализованных зон. Оно распределено достаточно равномерно, причем золото выявляется, в том числе, и в верхних водораздельных частях склонов. Среднее содержание шлихового золота составляет 3–5 знаков металла на шлиховую пробу. Золото характеризуется сложной морфологией, слабой окатанностью. Размер зерен варьирует от 0,1 до 0,6 мм.

Обсуждение результатов и выводы

Важным методическим аспектом проведенных работ является сопоставление литохимического опробования по ВОР на разных уровнях разреза элювиально-делювиальных отложений. На графиках распределения золота и некоторых сопутствующих элементов (серебро, марганец) (рис. 5) видно, что общий ореол повышенной золотоносности (зона рассланцевания) выделяется «стандартным» подпочвенным литохимическим опробова-

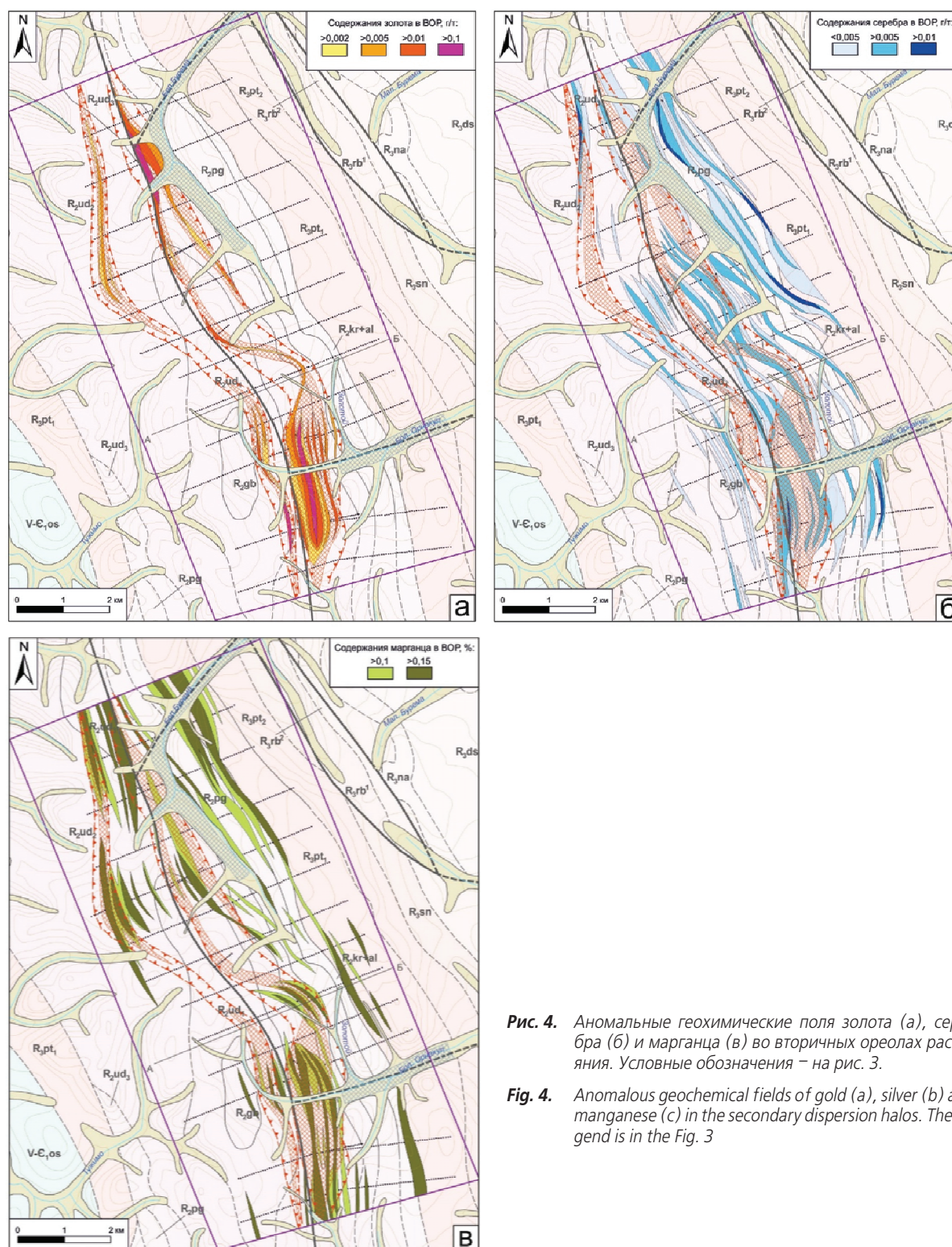


Рис. 4. Аномальные геохимические поля золота (а), серебра (б) и марганца (в) во вторичных ореолах рассеяния. Условные обозначения – на рис. 3.

Fig. 4. Anomalous geochemical fields of gold (a), silver (b) and manganese (c) in the secondary dispersion halos. The legend is in the Fig. 3

нием по ВОР на глубине до 0,6 м, тогда как золотоносная минерализованная зона четко выявляется лишь опробованием нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений на глубине 1,0–1,2 м.

Мощность перекрывающих отложений в пределах рудопроявления составляет от 0,5 м (на кру-

тых склонах и водоразделах) до 1,5 м (в низинах и долинах). Поэтому опробование на глубинах 1,0–1,2 м является достаточно информативным для локализации золотоносных минерализованных зон и потенциально рудных зон в их пределах. На рис. 6 показаны результаты опытно-методических работ. Литохимическое опробование по вто-

ричным ореолам рассеяния осуществлялось по вертикальным сечениям, расположенным на расстоянии 20 м со сгущением до 10 м над потенциально рудной зоной, с интервалом пробоотбора 0,2 м. Положение рудной зоны определялось по максимальной концентрации вкрапленной сульфидизации в элювиально-делювиальных обломках, сопровождающейся кварцевой прожилковой минерализацией. Из нижнего слоя элювиально-делювиальных образований, граничащего с коренными породами, также отбирались шлиховые пробы.

Опытно-методические работы показали, что ореолы низких концентраций (0,01–0,05 г/т) вытянуты вниз по склону на многие десятки и, вероятно, сотни метров и на изученном интервале не оконтурены. Ореолы содержаний 0,05–0,1 г/т развиты более локально и смещены относительно потенциально зоны на расстояние около 50 м. Наиболее контрастные ореолы золота, в отличие от ореолов низких концентраций, не выходят на поверхность и смещены незначительно (до 20–30 м).

Шлиховым опробованием в рыхлых образованиях, непосредственно граничащих с золотоносной зоной, установлена знаковая золотоносность, причем максимальное количество знаков золота приурочено к гипсометрически пониженной части.

Таким образом, установлено, что горизонт опробования при поисковых работах по ВОР на глубине 0,3–0,4 м, залегающий под почвенно-растительным слоем, обеднен золотом по сравнению с надкоренными элювиально-делювиальными отложениями на глубине 1,0–1,2 м в несколько раз. Очевидно, что «нижний» информативный вторичный ореол отвечает положению коренной золотоносности. Это позволяет уже на раннем этапе поисков определить места проходки канав до коренных пород для локализации золоторудных зон.

АГХП серебра приурочено к флангам золотоносной минерализованной зоны. Это же относится и к АГХП марганца. Любопытно, что содержания марганца при подпочвенном опробовании оказываются выше, чем при опробовании надкоренного слоя элювиально-делювиальных отложений. Наиболее вероятно, это связано развитием гипергенным вторичных минералов, обогащенных марганцем.

Таким образом, применяемая экспрессная методика поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах в условиях Енисейского края позволила в течение одного короткого полевого сезона вновь выявить рудоконтролирующую зону складчато-разрывных деформаций участка Буреминский и потенциально золотоносные минерализованные зоны в ее пределах. Судя по существенно рассеянному золото-сульфидному составу золотой минерализации, а также по объемному характеру распределения АГХП золота предполагается выявление крупнообъемного золотого оруденения типа вкрапленных минерализованных зон с низкими средними содержаниями золота.

Полученные результаты позволяют предварительно выделить основные прогнозно-поисковые признаки золотой минерализации поискового участка Буреминский. Последнее, при наличии литохимических ореолов с содержанием более 0,1 г/т в ВОР, может быть отнесено к рангу рудопроявлений. По ряду признаков, таких как карбонатно-терригенный состав вмещающих отложений, объемный существенно вкрапленный рассеянный характер сульфидной минерализации, в качестве объекта-эталона автором предварительно выделяется известное Олимпиадинское золото-сульфидное месторождение [19–22]. Причем речь идет о ранних крупнообъемных вкрапленно-рассе-

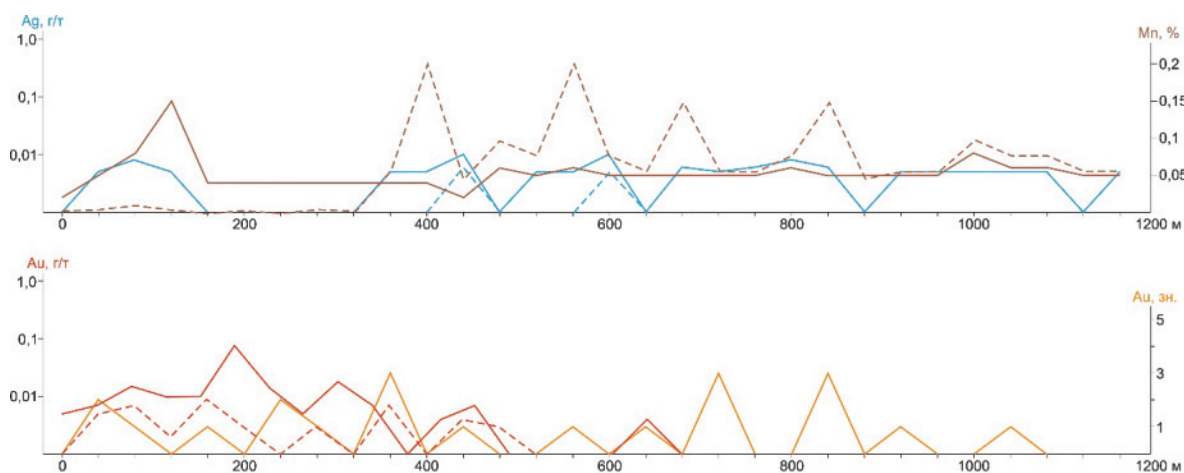


Рис. 5. Графики распределения золота и сопутствующих элементов во вторичных ореолах рассеяния по линии копушей № 1: сплошные линии – опробование по ВОР с глубины 1,0–1,2 м, пунктирные – 0,6 м

Fig. 5. Graphs of distribution of gold and accompanying elements in secondary dispersion halos by the cross-section line of pit-mining no. 1: full lines – sampling for secondary dispersion halos at the depth 1,0–1,2 m, dotted lines – 0,6 m

янных первичных бедных рудах этого месторождения, которые составляют 90 % всех его запасов [23, 24].

В таблице приводятся основные элементы прогнозно-поисковой модели рудопроявления Буреминское и объекта-эталона – Олимпиаднинского месторождения. Исходя из приведенных данных можно выделить ряд сходных и отличительных элементов сопоставляемых объектов. В первую очередь следует отметить карбонатно-терригенный состав вмещающих отложений на сопоставляемых объектах и отсутствие четко выраженной метасоматической зональности [25]. Вмещающими вкрапленные руды Олимпиаднинского месторождения являются измененные терригенно-карбонатные породы, сложенные карбонатами (преимущественно железистым кальцитом), кварцем и слюдами с примесью хлорита и углеродистого вещества [26]. Минерализованную зону рассеянной вкрапленности сульфидов рудопроявления Буреминское вмещают карбонатные измененные (серицитизация, железо-магнезиальная карбонатизация, окварцевание) породы – карбонат-кварц-серицитовые сланцы. Учитывая наличие слабых неконтрастных шлиховых ореолов золота с тонким и мелким металлом, можно предварительно заключить, что, так же, как и в первичных вкрапленных рудах Олимпиаднинского месторождения, золотую минерализацию рудопроявления Буреминское характеризует тесная ассоциация золота с сульфидами, в которых оно находится в тонкодисперсном субмикроскопическом виде.

Таким образом, установлен ряд сходных признаков Олимпиаднинского месторождения и рудопроявления Буреминское, среди которых выделяются: 1) карбонатный состав вмещающих пород; 2) отсутствие четко выраженной метасоматической зональности; 3) вкрапленный золото-сульфидный тип оруденения.

Заключение

Результаты проведенных исследований позволили выявить новое рудопроявление коренного золота Буреминское на Енисейском кряже. Рудоконтролирующая зона складчато-разрывных деформаций рудопроявления характеризуется приуроченностью к зоне ССЗ разрывных нарушений, оперяющихся к Ишимбинской системе региональных разломов, в узле их сочленения с СВ разрывами. В пределах этой зоны выявлено две золотоносные минерализованные зоны, представленные интенсивно сульфидизированными и железо-магнезиально-карбонатизированными углеродсодержащими карбонат-кварц-серицитовыми сланцами. Золотая минерализация представляет собой крупнообъемную рассеянную сульфидную вкрапленность с низкими содержаниями золота. По ряду прогнозно-поисковых признаков (терригенно-карбонатный состав вмещающих отложений, вкрапленный тип оруденения и др.) в качестве объекта-эталона рассматривается Олимпиаднинское золото-сульфидное месторождение.

Применяемая методика поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ланд-

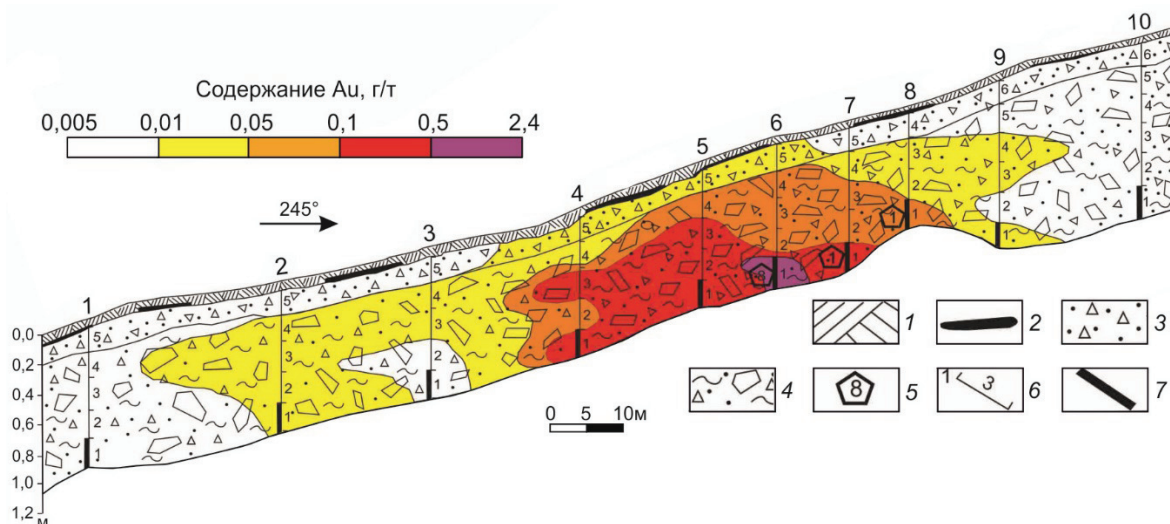


Рис. 6. Распределение вторичных ореолов рассеяния золота над потенциально рудной зоной: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – гумусовый слой; 3 – суглинок с дресвой и щебнем карбонат-кварц-серицитовых сланцев; 4 – элювиально-делювиальные отложения: обломки карбонат-кварц-серицитовых сланцев с примесью суглинка до 10–15 %; 5 – количество знаков золота в шлиховых пробах; 6 – номера сечений литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния; 7 – места отбора шлиховых проб

Fig. 6. Distribution of secondary gold dispersion halos over a potentially ore zone: 1 is the top soil; 2 is the humus layer; 3 is the loamy soil with grass and broken stone of carbonate-quartz-sericite schists; 4 are the eluvial-deluvial sediments: fragments of carbonate-quartz-sericite schists with impurity of loam up to 10–15 %; 5 is the quantity of gold signs in the schlich samples; 6 are the numbers of cross-sections of lithochemical sampling by secondary dispersion halos; 7 is the location of schlich sampling

шафтных условиях Енисейского кряжа позволила в течение одного полевого сезона выявить новое рудопроявление коренного золота. Новым и наиболее важным аспектом методики поисков является установленный факт, что наиболее высокие кон-

центрации золота в ВОР, соответствующие положению золотоносных минерализованных зон, выявляются опробованием нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений на глубине 1,0–1,2 м.

Таблица. Сопоставление прогнозно-поисковых критериев и признаков Олимпиаднинского месторождения и рудопроявления Буреминское

Table. Comparison of the forecasting and prospecting criteria and features of the Olimpiadninskoe deposit and the Bureminskoe ore occurrence

Прогнозно-поисковые критерии и признаки Forecasting and prospecting criteria and features	Олимпиаднинское месторождение Olimpiadninskoe gold deposit	Буреминское рудопроявление Bureminskoe ore occurrence
Тектонические Tectonic	Тейско-Татарская металлогеническая зона, Енашимо-Верхне-Ерудинская подзона Teisko-Tatar metallogenic zone, Enashimo-Verkhne-Erudinsk subzone	Чернореченско-Каменская металлогеническая зона, граница Северо-Енисейско-Ишимбинской и Ангара-Питской подзон Chernorechensk-Kamensk metallogenic zone, the boundary of the North-Yenisei-Ishimbinsk and Angara-Pitsk subzones
Геолого-структурные Geological-structural	Зона геодинамического влияния Татарского ССЗ разлома в узле сочленения и пересечения разрывами субширотной ориентировки; призмковая часть Медвежинской антиклинали; провис кровли гранитоидного массива Zone of geodynamic influence of the Tatar NNW fault in the junction and intersection with discontinuities of the sublatitudinal orientation; curve of fold zone of the Medvezhinsk anticline; overlying layer of granitoid massif	Зона геодинамического влияния Ишимбинского ССЗ разлома в узле сочленения с разрывами СВ ориентировки; приядерная часть Ишимбинской антиклинали Zone of geodynamic influence of the Ishimbinsk NNW fault in the junction with the discontinuities of the NE orientation; core of fold zone of the Ishimbinsk anticline
Литолого-стратиграфические Lithological-stratigraphic	Углеродсодержащий карбонатно-терригенный комплекс, кординская свита (R _{kd}), среднекординская подсвита – слюисто-кварц-карбонатные сланцы с прослоями известняков Carbonaceous carbonate-terrigeneous complex, Kordian series (R _{kd}), Middle Kordian subseries – mica-quartz-carbonate schists with interlayers of limestones	Углеродсодержащий (вулканогенно)-карбонатно-терригенный комплекс, удерейская свита (R _{ud}), среднеудерейская подсвита – карбонат-кварц-серицитовые углеродсодержащие сланцы Carbonaceous (volcanogenic)-carbonate-terrigeneous complex, Udelean series (R _{ud}), Middle Udelean subseries – carbonate-quartz-sericite carbonaceous schists
Метаморфические Metamorphic	Зона биотитовой ступени зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, возрастающего до эпидот-амфиболитовой фации Zone of biotite stage of greenschist facies of regional metamorphism, growing up to the epidote-amphibolite facies	Зона хлорит-серицитовая субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма Zone of chlorite-sericite subfacies of the greenschist facies of regional metamorphism
Гидротермально-метасоматические Hydrothermal-metasomatic	1) высокотемпературные контактово-метасоматические изменения (грейзенизация, скарнирование и др.); 2) ореолы вкрапленной сульфидизации; 3) околорудные изменения березитового типа 1) high-temperature contact-metasomatic alteration (greysenization, skarning et al.); 2) halos of disseminated sulphidisation; 3) berezitic type alteration	1) ореолы вкрапленной сульфидизации и железо-магнезиальной карбонатизации; 2) локальные околорудные сульфидно-кварц-серицитовые изменения 1) halos of disseminated sulphidisation and iron-magnesian carbonatization; 2) local sulphide-quartz-sericite alteration
Минералогические Mineralogical	нерудные минералы – кварц, карбонаты, слюды (мусковит, серицит, биотит), хлорит; рудные минералы – арсенопирит, пирротин, пирит, бертьерит, золото non-metallic minerals – quartz, carbonates, mica (muscovite, sericite, biotite), chlorite; ore minerals – arsenopyrite, pyrrhotine, pyrite, berthierite, gold	нерудные минералы – серицит, карбонаты, кварц; рудные минералы – пирит, редко пирротин, золото non-metallic minerals – sericite, carbonates, quartz; ore minerals –pyrite, rarely pyrrhotine, gold
Морфологические Morphological	1) крупнообъемная зона-залежь бедных рассеянных вкрапленных первичных золото-сульфидных руд (до 3,0 г/т); 2) золото-сурьмяные богатые (>3,0 г/т) жильно-прожилковые зоны 1) large-volume zone-bed deposit of poor disseminated primary gold-sulfide ores (up to 3,0 g/t); 2) gold-antimony rich (>3,0 g/t) vein-veinlet zones	1) крупнообъемная минерализованная зона рассеянной сульфидной вкрапленности; 2) маломощные жильно-прожилковые секущие зоны 1) large-volume mineralized zone of dispersed sulfide dissemination; 2) low-thickness vein-veinlet transversal zones

Окончание таблицы

Table

Прогнозно-поисковые критерии и признаки Forecasting and prospecting criteria and features	Олимпиаднинское месторождение Olimpiadninskoe gold deposit	Буреминское рудопроявление Bureminskoe ore occurrence
Минералого-геохимические Mineralogical-geochemical	1) широкие слабоконтрастные АГХП золота в ВОР и элементов-спутников (сурьма, мышьяк, вольфрам); 2) широкие слабоконтрастные шлиховые ореолы с тонким и мелким золотом – первые десятки, редко сотни знаков металла на шлиховую пробу 1) wide low-contrast anomalous geochemical aureoles of gold in secondary dispersion halos and satellite elements (antimony, arsenic, tungsten); 2) wide low-contrast schlich halos with fine gold – the first dozens, rarely hundreds of metal signs per schlich sample	1) широкие (до 300 м) АГХП золота в ВОР с содержаниями 0,01–0,1 г/т; по периферии АГХП золота – аномалии серебра, марганца; 2) широкие слабоконтрастные шлиховые ореолы тонкого и мелкого золота (0,1–0,6 мм) с невысоким содержанием металла – 3–5 знаков на шлиховую пробу в пределах минерализованной зоны 1) wide (up to 300 m) anomalous geochemical aureoles of gold in secondary dispersion halos with the contents 0,01–0,1 g/t; on the periphery of anomalous geochemical aureoles of gold – anomalies of silver, manganese; 2) wide low-contrast schlich halos with fine gold (0,1–0,6 mm) with a low metal content – 3–5 signs per schlich sample within the mineralized zone
Геофизические Geophysical	1) положительные аномалии магнитного поля; 2) слабо отрицательные аномалии поля силы тяжести 1) positive anomalies of the magnetic field; 2) low-negative gravity field anomalies	1) зона «распада» структуры градиента магнитного поля – слабо положительная аномалия; 2) слабо положительная аномалия поля силы тяжести 1) zone of «decay» of the structure of the magnetic field gradient – low-positive anomalies; 2) low-positive gravity field anomalies

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes / R. Goldfarb, T. Baker, B. Dube, D.I. Groves, C.J. Hart., P. Gosselin // Society of Economic Geologists. – 2005. – № 5. – P. 407–450.
- Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types / D.I. Groves, R.J. Goldfarb, M. Gebre-Mariam, S.G. Hagemann, F. Robert // Ore geology reviews. – 1998. – V. 13. – № 1. – P. 7–27.
- Metallogeny of Siberia: tectonic, geologic and metallogenic settings of selected significant deposits / R. Seltmann, S. Soloviev, V. Shatov, F. Pirajno, E. Naumov, S. Cherkasov // Australian Journal of Earth Sciences. – 2010. – V. 57. – № 6. – P. 655–706.
- Фисенко В.Г. Предпосылки и признаки золоторудной минерализации северо-восточного склона Енисейского кряжа и перспективы промышленной золотоносности: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Красноярск, 2016. – 18 с.
- Модели месторождений золота Енисейской Сибири / С.С. Сердюк, Ю.Е. Коморовский, А.И. Зверев, В.К. Оябрь, В.С. Власов, В.Е. Бабушкин, В.А. Кириленко, С.А. Землянский. – Красноярск: СФУ, 2010. – 584 с.
- Yakubchuk A., Stein H., Wilde A. Results of pilot Re-Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia // Ore Geology Reviews. – 2014. – V. 59. – P. 21–28.
- Волков А.В. Крупнотоннажные месторождения в мировой и российской золотодобыче // Золото и технологии. – 2012. – № 2 (16). – С. 38–46.
- Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
- Иванов А.И. Роль метаморфизма в золотом рудообразовании в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных комплексах на примере Байкало-Патомской металлогенической провинции и его отражение в прогнозно-поисковых моделях // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы: Сборник тез. докл. научно-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2015. – С. 61–62.
- Powell R., Will T.M., Phillips G.N. Metamorphism in Archaean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization // Journal of Metamorphic Geology. – 1991. – V. 9. – № 2. – P. 141–150.
- Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. – 2010. – V. 28. – № 6. – P. 689–718.
- Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits // Geological Society, London, Special Publications. – 2015. – V. 393. – № 1. – P. 117–134.
- Bonnemaizon M., Marcoux E. Auriferous mineralization in some shear-zones: a three-stage model of metallogenesis // Mineralium Deposita. – 1990. – V. 25. – № 2. – P. 96–104.
- Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С., Тарасов А.В. Рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций в средне-верхнерифейских карбонатно-терригенных комплексах Енисейской золоторудной провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы: сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М.: ЦНИГРИ, 2016. – С. 98–99.
- Иванов А.И. Экспрессный метод поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 36–42.
- Иванов А.И. Золото Байкало-Патомы (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2017. – 215 с.
- Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С., Курмаев А.В. Применение экспрессной методики поисков золоторудных месторождений в горно-таежных ландшафтах на примере поисковых работ на большеобъемное золотое оруденение в пределах Средне-Ишим-бинской площади // Руды и металлы. – 2015. – № 4. – С. 39–50.
- Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С. Методические аспекты применения шлихогеохимического метода при поисках золота в условиях Енисейского кряжа // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благо-

- рудных металлов, алмазов – состояние и перспективы: Сборник тез. докл. научно-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2016. – С. 40–41.
19. Типоморфизм арсенопирита золоторудных месторождений Благодатное и Олимпиада (Енисейский кряж) / А.М. Сазонов, С.Д. Кирик, С.А. Сильянов, О.А. Баюков, П.А. Тишин // Минералогия. – 2016. – № 3. – С. 53–70.
20. A multidisciplinary study of invisible gold in arsenopyrite from four mesothermal gold deposits in Siberia, Russian Federation / A.D. Genkin, N.S. Bortnikov, L.J. Cabri, L.J. Cabri, F.E. Wagner, C.J. Stanley, Yu.G. Safonov, G. McMahon, J. Friedl, A.L. Kerzin, G.N. Gamyanin // *Economic Geology*. – 1998. – V. 93. – № 4. – P. 463–487.
21. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation / A.S. Borisenko, A.M. Sazonov, P.A. Nevolko, E.A. Naumov, S. Tesselina, K.R. Kovalev, V.P. Sukhorukov // *Acta Geologica Sinica*. – 2014. – V. 88. – № 2. – P. 686–687.
22. Re-Os Isotope Systematics of Sulfides from Olympiada Gold Deposit (Yenisei Ridge, Russia) / E.A. Naumov, S. Tesselina, A.S. Borisenko, P.A. Nevolko, K.R. Kovalev // *Mineralogical Magazine. Goldschmidt 2013*. – 2013. – V. 77. – № 5. – P. 1830.
23. Кряжев С.Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2017. – 28 с.
24. Неволько П.А., Борисенко А.С. Этапы формирования золотого и сурьмяного оруденения Енисейского кряжа и их корреляция с периодами проявления магматизма // *Металлогения древних и современных океанов*. – 2009. – Т. 15. – С. 37–42.
25. Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский кряж, Сибирь) / А.Д. Генкин, В.А. Лопатин, Р.А. Савельев, Ю.Г. Сафонов, Н.Б. Сергеев, А.Л. Керзин, А.И. Цепин, Х. Амштутц, З.Б. Афанасьева, Ф. Вагнер, Г.Ф. Иванова // *Геология рудных месторождений*. – 1994. – Т. 36. – № 2. – С. 111–136.
26. Ли Л.В. Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. – Красноярск: КНИИГиМС, 2003. – 120 с.

Поступила 12.02.2018 г.

Информация об авторах

Мансуров Р.Х., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела благородных металлов Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов.

UDC 550.812:553.073

METHODICAL ASPECTS OF FORECASTING AND PROSPECTING FOR LARGE-VOLUME GOLD DEPOSITS ON THE EXAMPLE OF THE YENISEI RIDGE

Rinat Kh. Mansurov,
rinman81@bk.ru

Central research institute of geological prospecting for base and non-ferrous metals,
129, bld. 1, Varshavskoe Shosse, Moscow, 117545, Russia.

The relevance of the research is caused by the need of study and involvement of a new large-volume gold deposits in production. This can be contributing to the establishment and long-term development of whole regions of Russia. The main aspect is the engineering of a new and improvement of existing methods for prospecting gold deposits.

The main aim of the research is the approbation of the methodology for prospecting gold deposits in difficult mountain-taiga landscapes applied to the conditions of the Yenisei Ridge, in particular, within the poorly known eastern part of this region, as well as identification of forecasting and prospecting criteria and features of newly discovered gold ore occurrence Bureminskoe, and their comparison with those of the known large-volume gold-sulfide Olimpiadninskoe deposit.

Methods: analysis of literary and fund data; forecasting construction to determine prospecting areas for identifying a large-volume gold mineralization; development of new and improvement of existing methods and techniques for prospecting gold deposits; application of these methods in practice (lithochemical sampling for secondary dispersion halos of different levels of the cross-section of eluvial-deluvial sediments, schlich and point sampling; laboratory and analytical research (semiquantitative spectral analysis for 26 elements, chemical spectral analysis for gold).

Results. The authors have detected a new ore-controlling zone of fold-discontinuous deformations of the gold ore occurrence Bureminskoe. It is confined to the zone of faults of the north-north-west orientation, fledging to the Ishimbinsk fault system, at the junction of their articulation with faults of the NE direction. A several gold-bearing mineralized zones within the cleavage zone are detected by a complex of schlich and lithochemical sampling for secondary dispersion halos of the informative low-shifted horizon of eluvial-deluvial sediments. The gold-bearing mineralized zones are represented by zones-deposits of disseminated gold-sulfide mineralization localized in intensely iron-magnesian-carbonatized carbonaceous carbonate-quartz-sericite schists of the Uderey sediments of the Sukhopitsk series of the Middle Riphean. The forecasting and prospecting criteria and features for gold mineralization of the ore occurrence Bureminskoe are identified. The primary poor disseminated gold-sulfide ores of the Olimpiadninskoe deposit are the closest analogue of the ore occurrence Bureminskoe. The authors compared the main geological elements of the ore occurrence Bureminskoe with disseminated gold-sulfide ores of Olimpiadninskoe deposit.

Key words:

Methods of prospecting for gold deposits, Yenisei Ridge, large-volume disseminated gold-sulfide mineralization, gold ore occurrence Bureminskoe, Olimpiadninskoe gold deposit, forecasting and prospecting criteria and features.

REFERENCES

1. Goldfarb R., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C.J., Gosse-
lin P. Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Society of Economic Geologists*, 2005, no. 5. pp. 407–450.
2. Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore geology reviews*, 1998, vol. 13, no. 1, pp. 7–27.
3. Seltmann R., Soloviev S., Shatov V., Pirajno F., Naumov E., Cherkasov S. Metallogeny of Siberia: tectonic, geologic and metallogenic settings of selected significant deposits. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2010, vol. 57, no. 6, pp. 655–706.
4. Fisenko V.G. *Predposylki i priznaki zolotorudnoy mineralizatsii severo-vostochnogo sklona Eniseyskogo kryazha i perspektivy promyshlennoy zolotonosnosti*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Background and features of gold mineralization of the north-eastern slope of the Yenisei ridge and prospects of industrial gold content. Cand. Diss. Abstract]. Krasnoyarsk, 2016. 18 p.
5. Serdyuk S.S., Komorovsky Yu.E., Zverev A.I., Oyaber V.K., Vlasov V.S., Babushkin V.E., Kirilenko V.A., Zemlyansky S.A. *Modeli mestorozhdeniy zolota Eniseyskoy Sibiri* [Gold deposits models of Yeniseian Siberia]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University Publ., 2010. 584 p.
6. Yakubchuk A., Stein H., Wilde A. Results of pilot Re–Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia. *Ore Geology Reviews*, 2014, vol. 59, pp. 21–28.
7. Volkov A.V. Bulk-tonnage deposits in World and Russian gold mining. *Gold and Technology*, 2012, no 2 (16), pp. 38–46. In Rus.
8. Buryak V.A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* [Metamorphism and ore genesis]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 256 p.
9. Ivanov A.I. Rol metamorfizma v zolotom rudoobrazovanii v ugle-
rodistykh terrigennykh i karbonatno-terrigenykh kompleksakh na primere Baykalo-Patomskoy metallogenicheskoy provintsii i ego otrazhenie v prognozno-poiskovykh modelyakh [The role of metamorphism in gold ore mineralization in carbonaceous terrigenous and carbonate-terrigenous complexes by the example of Baikal-Patom metallogenic province and its reflection in forecast-search models]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov,almazov – sostoyanie i perspektivy*. Sbornik tezisev dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2015. pp. 61–62.
10. Powell R., Will T.M., Phillips G.N. Metamorphism in Archaean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization. *Journal of Metamorphic Geology*, 1991, vol. 9, pp. 141–150.
11. Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model. *Journal of Metamorphic Geology*, 2010, vol. 28, pp. 689–718.
12. Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits. *Geological Society, London, Special Publications*, 2015, vol. 393, pp. 117–134.

13. Bonnemaison M., Marcoux E. Auriferous mineralization in some shear-zones: a three-stage model of metallogenesis. *Mineralium Deposita*, 1990, vol. 25, pp. 96–104.
14. Mansurov R.Kh., Zelikson B.S., Tarasov A.V. Rudokontroliruyushchie zony skladchato-razryvnykh deformatsiy v sredne-verkhnerifeyskikh karbonatno-terrigennykh kompleksakh Eniseyskoy zolotorudnoy provintsii [Ore-controlling zones of fold-discontinuous deformations in carbonate-terrigenous sediments of the Upper-Middle Riphean within the Yenisei gold province]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov, almazov – sostoyanie i perspektivy. Sbornik tezisev dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2016. pp. 98–99.
15. Ivanov A.I. A set of bedrock gold-oriented techniques and methods for exploration in the mountainous taiga environments. *Ores and Metals*, 2014, no. 1, pp. 36–42. In Rus.
16. Ivanov A.I. *Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudenenie, perspektivy)* [Gold of the Baikal-Pathom (geology, ore mineralization, prospects)]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2017. 215 p.
17. Mansurov R.Kh., Zelikson B.S., Kurmaev A.V. Express method of prospecting gold deposits in difficult mountain-taiga landscapes on the example of prospecting lode gold mineralization within the Sredne-Ishimbinskaya area. *Ores and Metals*, 2015, no. 4, pp. 39–50. In Rus.
18. Mansurov R.Kh., Zelikson B.S. Metodicheskie aspekty primeneniya shlikhogeokhimicheskogo metoda pri poiskakh zolota v usloviyakh Eniseyskogo kryazha [Methodical aspects of application of schlich and geochemical methods in prospecting gold mineralization in the Yenisei ridge conditions]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov, almazov – sostoyanie i perspektivy. Sbornik tezisev dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2016. pp. 40–41.
19. Sazonov A.M., Kirik S.D., Silyanov S.A., Bayukov O.A., Tishin P.A. Typomorphism of arsenopyrite in gold deposits Blagodatnoe and Olimpiada (Yenisei Ridge). *Mineralogy*, 2016, no. 3, pp. 53–70. In Rus.
20. Genkin A.D., Bortnikov N.S., Cabri L.J., Cabri L.J., Wagner F.E., Stanley C.J., Safonov Yu.G., McMahon G., Friedl J., Kerzin A.L., Gamyanin G.N. A multidisciplinary study of invisible gold in arsenopyrite from four mesothermal gold deposits in Siberia, Russian Federation. *Economic Geology*, 1998, vol. 93, no. 4, pp. 463–487.
21. Borisenko A.S., Sazonov A.M., Nevolko P.A., Naumov E.A., Tesselina S., Kovalev K.R., Sukhorukov V.P. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation. *Acta Geologica Sinica*, 2014, vol. 88, no. 2, pp. 686–687.
22. Naumov E.A., Tesselina S., Borisenko A.S., Nevolko P.A., Kovalev K.R. Re-Os Isotope Systematics of Sulfides from Olimpiada Gold Deposit (Yenisei Ridge, Russia). *Mineralogical Magazine*, 2013, vol. 77, no. 5, pp. 1830.
23. Kryazhev S.G. *Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh kompleksakh. Avtoreferat Dis. Dokt. Nauk* [Genetic models and criteria for forecasting gold deposits in carbon-terrigenous complexes. Dr. Diss. Abstract]. Moscow, 2017. 28 p.
24. Nevolko P.A., Borisenko A.S. Stages of formation of gold and antimony mineralization of the Yenisei Ridge and their correlation with the periods of magmatic activation. *Metallogeny of ancient and modern oceans*, 2009, vol. 15, pp. 37–42. In Rus.
25. Genkin A.D., Lopatin V.A., Savelyev R.A., Safonov Yu.G., Sergeev N.B., Kerzin A.L., Tsepina A.I., Amshtutts Kh., Afanasyeva Z.B., Vagner F., Ivanova G.F. Gold ores of the Olimpiada deposit (Yenisei Ridge, Siberia). *Geology of Ore Deposits*, 1994, vol. 36, no. 2, pp. 111–136. In Rus.
26. Li L.V. *Olimpiadninskoe mestorozhdenie vkraplennykh zoloto-sulfidnykh rud* [Olimpiadninskoye deposit of disseminated gold-sulphide ores]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2003. 120 p.

Received: 12 February 2018.

Information about the authors

Rinat Kh. Mansurov, Cand. Sc., assistant, Senior Researcher, Central research institute of geological prospecting for base and non-ferrous metals.