

Геолого-геофизические признаки локализации крупнообъемных золотоносных минерализованных зон в пределах рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций на примере Енисейского кряжа

Р.Х.МАНСУРОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1),
А.В.ТАРАСОВ (ООО Научно-производственное предприятие «ВИРГ-Рудгеофизика»; 197342, г. Санкт-Петербург, ул. Белоостровская, д. 17, корп. 2),
С.С.ДВУРЕЧЕНСКАЯ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1)

Поисковыми работами ФГУП ЦНИГРИ в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади, расположенной на восточном склоне Енисейского кряжа, выявлены золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное. Золотая минерализация приурочена к рудоконтролирующей зоне складчато-разрывных деформаций север-северо-западной ориентировки, являющейся одной из ветвей Ишимбинской системы глубинных долгоживущих разломов. Впервые в регионе установлена золотоносность углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложений свит аладынской и карточки среднего рифея.

Ключевые слова: восточный склон Енисейского кряжа, рудопоявление Южное, свиты аладынская и карточка среднего рифея, золотоносные минерализованные зоны.

Мансуров Ринат Халитович
Тарасов Андрей Вячеславович
Двуреченская Светлана Степановна



rinman81@bk.ru
tarasov@virg-npp.ru
dvurechenskaya@tsnigri.ru

Geological and geophysical evidence of large-tonnage gold-rich mineralized zone localization within ore-controlling zones of fold-ruptural deformations exemplified by the Yenisei ridge

R.Kh.MANSUROV, A.V.TARASOV, S.S.DVURECHENSKAYA

Gold-bearing mineralized zones of the Yuzhnoye ore occurrence have been localized during prospecting by FSUE TSNIGRI within Sredne-Ishimbinskaya prospective area in the eastern slope of the Yenisei ridge. Gold ore mineralization is confined to the ore-controlling zone of fold-discontinuous deformations of north-north-west orientation representing one branch of the Ishimbinsky deep fault system. For the first time in the region, gold ore mineralization in carbonaceous terrigenous sediments of Kartochki and Aladyinskaya series of the Middle Riphean is detected.

Key words: Eastern slope of the Yenisei ridge, the Yuzhnoye gold ore occurrence, Aladyinskaya and Kartochki series of Middle Riphean, gold-bearing mineralized zones.

В период 2013–2015 гг. силами ФГУП ЦНИГРИ осуществлялись поисковые работы на коренное золото на Средне-Ишимбинской перспективной площади. В результате работ были выявлены золотоносные минерализованные зоны рудопоявления Южное в юго-восточной части площади. Исследования выполнялись в рамках госконтракта Роснедра «Поисковые работы на большеобъемное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций».

Средне-Ишимбинская перспективная площадь расположена на восточном склоне Енисейского кряжа (рис. 1). Последний представляет собой вытянутый на 700 км покровно-складчатый пояс север-северо-западного простирания в юго-западном обрамлении Сибирской платформы [2–4, 10, 12, 16]. По данным А.И.Кривцова и др. (2009), в металлогеническом отношении площадь работ входит в состав Северо-Енисейско-Ишимбинской металлогенической подзоны Чернореченско-Каменской структурно-металлогенической зоны. Большинство исследователей региона

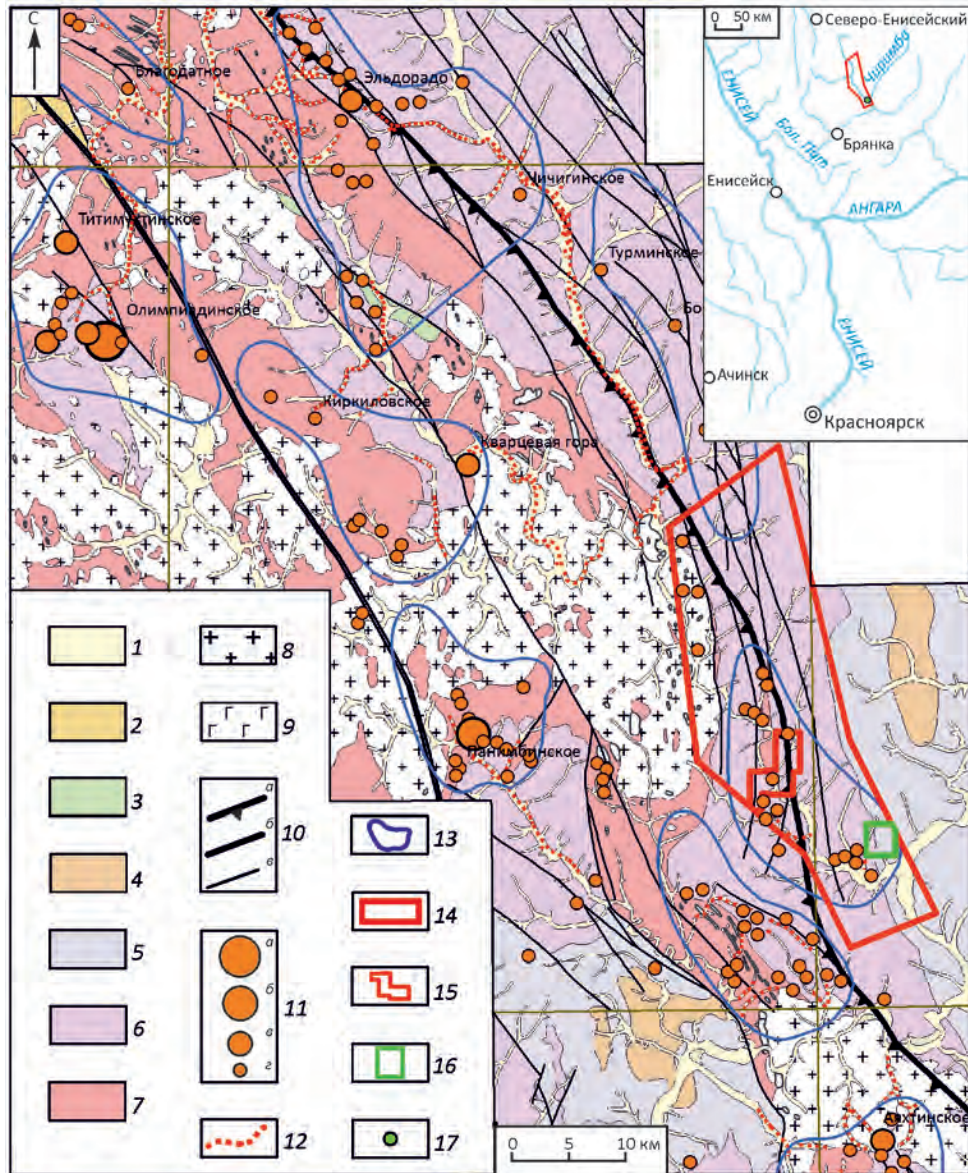


Рис. 1. Обзорная схема центральной части Енисейского края. Составлена с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»:

1–7 – стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения, 2 – карбонатно-терригенный известково-доломито-алевритопесчаный пестроцветный комплекс: немчанская (*Vnm*), подъемская (*Vpd*), суворовская (*Vsv*), мошаковская (*Vms*), чистяковская (*Vcv*), аleshинская (*Val*) свиты, 3 – карбонатно-терригенный известково-песчано-алеврито-сланцевый комплекс: чивидинская (*R₃cv*), карьерная (*R₃krr*), лопатинская (*R₃lp*) свиты, 4 – флишеидный карбонатно-терригенный углеродсодержащий известково-песчано-сланцевый комплекс: сухохребтинская (*R₃sh*), горевская (*R₃grv*), морянихинская (*R₃mr*), дашкинская (*R₃ds*), нижеангарская (*R₃na*), мокринская (*R₃mk*), рыбинская (*R₃rb*), бореминская (*R₃br*), удоронская (*R₃ud*) свиты, 5 – углеродсодержащий карбонатно-терригенный доломито-известково-филлито-песчано-сланцевый комплекс: шунтарская (*R₂sn*), потоскуйская (*R₂pt*), аладьинская (*R₂al*), карточка (*R₂kr*) свиты, 6 – углеродсодержащий вулканогенно-карбонатно-терригенный туфоогенно-известково-филлито-песчано-сланцевый комплекс: погорюйская (*R₂ud*), удерейская (*R₂ud*), горбилковская (*R₂gr*), кординская (*R₂kd*) свиты, 7 – карбонатно-терригенный кристаллосланцевый комплекс: пенчинская свита (*PR₂pn*); 8–9 – интрузивные образования: 8 – плагиогранодиоритовый комплекс: татарско-аяхтинский гранодиорит-плагиогранитовый (*R₃ta*), тейский гнейсогранитовый (*R₂te*), 9 – ортоамфиболитовый метагаббровый комплекс: индыглинский комплекс (*R₁i*); 10 – разрывные нарушения: а – зоны региональных разломов-надвигов, б – зоны региональных разломов, в – оперяющие к ним разрывы; 11 – месторождения и проявления коренного золота: а – весьма крупные, б – крупные, в – средние, г – проявления; 12 – промышленные линейные россыпи золота (разведываемые, разрабатываемые, отработанные); 13–16 – контуры: 13 – золоторудно-россыпных узлов, 14 – Средне-Ишимбинской перспективной площади, 15 – Марокского участка, 16 – поискового участка Южный; 17 – поисковый участок Южный (на врезке)

Рис. 2. Геологическая карта Средне-Ишимбинской площади. Составлена с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»:

1–21 – стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения; 2 – осланская серия: нижнеангарская свита (R_3la): песчаники, алевролиты, сланцы глинистые, линзы известняков, доломитов, гравелитов; 3–7 – киргитейская серия: 3 – мокринская свита (R_3mk): сланцы серицит-глинистые, линзы алевролитов, песчаников, известняков, 4 – рыббинская свита (R_3rb): сланцы глинисто-серицит-хлоритовые, пачки и прослои известняков глинистых, известняков, доломитов строматолитовых, 5 – бореминская свита (R_3br): сланцы известково-глинисто-серицитовые, известняки глинистые, прослои доломитов, 6 – удоронгская свита (R_3ud): переслаивание сланцев глинисто-серицитовых, алевролитов и песчаников, прослои кварцитовидных песчаников, линзы микрокристаллических известняков, 7 – киргитейская серия нерасчлененная (R_3kg): сероцветные аргиллиты, известковистые аргиллиты, прослои известняков, доломитов; 8–11 – тунгусикская серия: 8 – шунтарская свита (R_3sn): филлиты углеродистые, метаалевоаргиллиты хлорит-серицитовые, прослои черных углеродистых глинистых метаизвестняков, 9–11 – потоскуйская свита: 9 – верхняя подсвита (R_3pt_2): темно-серые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники, прослои хлоритоидных сланцев, известняков, доломитов, 10 – нижняя подсвита (R_3pt_1): темно-серые метааргиллиты, метаалевролиты, с прослоями кварцитовидных песчаников, 11 – нерасчлененная (R_3pt): глинистые, алевроглинистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники с пачками известняков, доломитов, кварцитовидных песчаников; 12–19 – сухопитская серия: 12 – аладынская свита и свита карточки объединенные (R_2al+kr): известковисто-глинистые сланцы, мергели, метадоломиты зеленоцветные, метаизвестняки сероцветные и пестрые, сланцы серицитовые известковистые, 13 – погорюйская свита (R_2pg): ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серицитовых, метаалевролитов, метапесчаников, кварциты, 14–17 – удерейская свита: 14 – верхняя подсвита (R_2ud_3): темно-серые тонкополосчатые филлиты, известковистые сланцы, 15 – средняя подсвита (R_2ud_2): темно-серые, зелено-серые сланцы и филлиты, прослои известковистых сланцев и песчаных известняков, 16 – нижняя подсвита (R_2ud_1): темно-серые, черные сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые углеродсодержащие, 17 – нерасчлененная (R_2ud): темно-серые, черные, реже зеленые сланцы и филлиты кварц-серицит-хлоритовые, углеродсодержащие, часто с сульфидами, 18 – горбилкокская свита (R_2gb): сланцы серицит-хлоритовые, хлорит-биотит-серицитовые, альбит-эпидот-хлоритовые (метатуфы базальтов) с магнетитом, часто тонкополосчатые, редкие тонкие прослои метапесчаников, 19 – кординская свита нерасчлененная (R_1kd): сланцы, филлиты хлорит-серицит-кварцевые, углеродсодержащие, прослои и линзы известняков, кварцитовидных метапесчаников, метагравелитов; 20–21 – тейская серия: 20 – пенченгинская свита (PR_1pn): кристаллические сланцы с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном, графитом, прослои кварцитов, слюдистых кварцитов, графитистых и слюдистых мраморов, амфиболитов, 21 – свита хребта Карпинского (PR_1hk): кристаллические сланцы с амфиболом, дистеном, андалузитом, силлиманитом, гранатом, графитом, прослои кварцитов, слюдистых кварцитов; 22–24 – интрузивные образования: 22 – индыглинский комплекс ($v-\beta R_1i$): ортоамфиболиты, метагаббро, 23–24 – татарско-аяхтинский комплекс: 23 – третья фаза ($v\epsilon R_3ta$): лейкократовые равнозернистые граниты, граносиениты, сиениты, 24 – вторая фаза ($v_2 R_3ta$): граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты; 25–26 – разрывные нарушения: 25 – осевые зоны региональных глубинных рудоконтролирующих разломов, 26 – прочие (1–3 порядков), в том числе выделяемые по геофизическим данным; 27 – линии опорных профилей; 28–31 – контуры: 28 – Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла, 29 – Средне-Ишимбинской площади, 30 – Марокского поискового участка, 31 – поискового участка Южный

рассматриваемая площадь отнесена к Северо-Енисейскому рудному району, который включает в себя основные золоторудные объекты Енисейского кряжа, такие как Олимпиадинское, Благодатное, Ведугинское, Эльдорадо, Советское и ряд других месторождений [2, 3, 12, 14]. Ведущая рудоконтролирующая роль в регионе отводится системе Ишимбинского глубинного долгоживущего разлома север-северо-западной ориентировки, имеющего форму надвига. Рудолокализирующие разрывные нарушения, как правило, сонаправлены Ишимбинскому разлому, имеют сбросо-взбросовый характер и осложнены более мелкими сбросо-сдвигами северо-восточной ориентировки [3, 4, 10, 12].

В геологическом строении Средне-Ишимбинской площади участвуют породы кристаллического фундамента: пенченгинская свита (PR_1pn), углеродсодержащие карбонатно-терригенные отложения сухопитской серии: кординская (R_1kd), горбилкокская (R_2gr), удерейская (R_2ud), погорюйская (R_2pg), аладынская и карточки (R_2al+kr) свиты, а также карбонатно-терригенные отложения тунгусикской серии: потоскуйская свита

(R_3pt) (рис. 2) [12, 14, 16]. В западной части площади выходит на дневную поверхность крупный Нижне-Чиримбинский гранитоидный массив татарско-аяхтинского интрузивного комплекса (R_3ta). Средне-Ишимбинская площадь находится на границе переходной градиентной зоны фаций регионального метаморфизма – от зеленосланцевой фации на восточном фланге до эпидот-амфиболитовой на западном фланге. Изограда биотита тяготеет к осевой зоне Ишимбинского разлома.

Методика исследований. Средне-Ишимбинская площадь охватывает Нижне-Чиримбинский рудно-россыпной узел, в пределах которого работами ОАО «Красноярскгеолсъемка» было выявлено Марокское рудопроявление золотомалосульфидно-кварцевого типа (В.А.Москалев и др., 2012). Однако на большей части рассматриваемой площади предшествующими поисковыми работами были выявлены лишь немногочисленные пункты минерализации (А.Я.Курилин и др., 1968; А.И.Вызу и др., 1987). По мнению авторов данной публикации это связано с тем, что исследуемая территория характеризуется сложным «закрытым»

горно-таежным ландшафтом, затрудняющим проведение поисковых работ. В таких условиях традиционные методы поисков оказываются недостаточно эффективными, так как информативный для оценки золотоносности надкоренной элювиально-делювиальный слой перекрыт дальнепринесенными отложениями. Стандартное литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния (ВОР) подпочвенного горизонта зачастую не позволяет выявлять аномалии золота и сопутствующих элементов. С учетом этого, с целью установления максимально достоверных данных по коренной золотоносности перспективной площади при поисковых работах применялась «Экспрессная методика поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах» [5, 6], успешно апробированная ФГУП ЦНИГРИ на ряде золоторудных объектов в Центрально-Алданском, Бодайбинском, Центрально-Кольымском и других рудных районах [13]. Методика позволяет в достаточно короткие сроки, с использованием минимального объема горно-буровых работ оценить золотоносность и ресурсный потенциал поисковых площадей и участков.

Поисковые работы осуществлялись в несколько последовательных этапов.

На *первом этапе* поисков перспективная площадь была изучена серией опорных геолого-геофизических профилей с целью выявления рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (рассланцевания). Длина профилей до 12 км, расстояние между ними 4–5 км. Исследования включали комплекс геологических (геолого-поисковые маршруты), геохимических (литохимическое опробование по ВОР подпочвенного горизонта на глубине 0,3–0,4 м, литохимическое по вторичным ореолам рассеяния и сколковое опробование нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов глубиной 1 м, пройденных с интервалом 800 м между шурфами) и геофизических методов. На этом же этапе осуществлялись геохимические поиски по потокам рассеяния (ПР) масштаба 1:50 000 [11].

Геофизические исследования включали в себя применение электро-, грави-, магниторазведочных методов по линиям опорных профилей. Кроме того, был проведен анализ и интерпретация данных предшествующих работ (В.В.Ромашко и др., 2006). В результате был существенно уточнен структурно-тектонический каркас площади работ. Анализ структурного рисунка магнитного поля позволил выделить и ранжировать тектонические нарушения. Так, в южной части Средне-Ишимбинской площади были выделены зоны поперечных разрывных нарушений северо-восточного простирания. Установлено, что рудопоявление Южное приурочено к участку разрушения («распада») структуры магнитного поля – области резкого ослабления интенсивности линейных магнитных аномалий и полного градиента магнитного поля (рис. 3). Предполагается,

что «распад» структуры магнитного поля связан с разрушением осадочно-метаморфогенного пирротина в результате гидротермально-метасоматического преобразования. Разрушение магнитного поля является косвенным благоприятным признаком наличия золоторудного процесса [15].

В региональной компоненте поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{Буге}}$) Средне-Ишимбинская площадь приурочена к гравитационному максимуму, связанному с выступом относительно плотного ($2,8 \text{ г/см}^3$) дорифейского фундамента (пенченгинская свита).

В локальной компоненте поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$) (рис. 4), вычисленной путем осреднения поля $\Delta g_{\text{Буге}}$ в круглом окне диаметром 4 км и последующим вычитанием результатов осреднения из исходного поля, отчетливо проявлены линейные положительные и отрицательные аномалии северо-западной ориентировки. В центральной части Средне-Ишимбинской площади в районе Марокского рудного поля выделяется положительная аномалия, вытянутая вдоль осевой зоны Ишимбинского разлома. Аномалия находится в пределах выходов пород удерейской свиты и при этом ограничена по простиранию. В результате поисковых работ в пределах Марокского рудного поля было установлено, что повышенная плотность пород обусловлена объемной гидротермально-метасоматической железомagneзиальной карбонатизацией и сульфидизацией пород.

На восточном фланге площади выделяется отрицательная аномалия (до -2 мГал), приуроченная к контакту свит аладынской и карточки с вышележащей потоскуйской свитой. Минимуму отвечают низкоплотные породы ($2,55\text{--}2,6 \text{ г/см}^3$), представленные кварцевыми песчаниками, кварцитами, а также известковисто-глинистыми сланцами. Пониженная объемная плотность пород позволяет предположить, что данный стратиграфический уровень обладает повышенной пористостью и соответственно повышенной проницаемостью для флюидов.

Электроразведка методом вызванной поляризации (ВП) позволила выделить участки наложенной сульфидизации. Аномалии поляризуемости над зонами сульфидизации имеют умеренную интенсивность (2–4%) и тяготеют к участкам рассланцевания и дробления в зоне влияния Ишимбинского разлома.

Комплексирование методов поисков позволило уже на первом этапе исследований определить наиболее перспективные поисковые участки для проведения дальнейших геологоразведочных работ в пределах выявленных рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (ЗСРД) (рассланцевания). Помимо геофизических данных, перспективные участки выделялись по первичным (ПО) и вторичным ореолам рассеяния, наличию прожилково-вкрапленной железомagneзиальной карбонатизации (бурошпатизации) и сульфидизации, кварцевой жильно-прожилковой минерализации в элювиально-делювиальных отложениях.

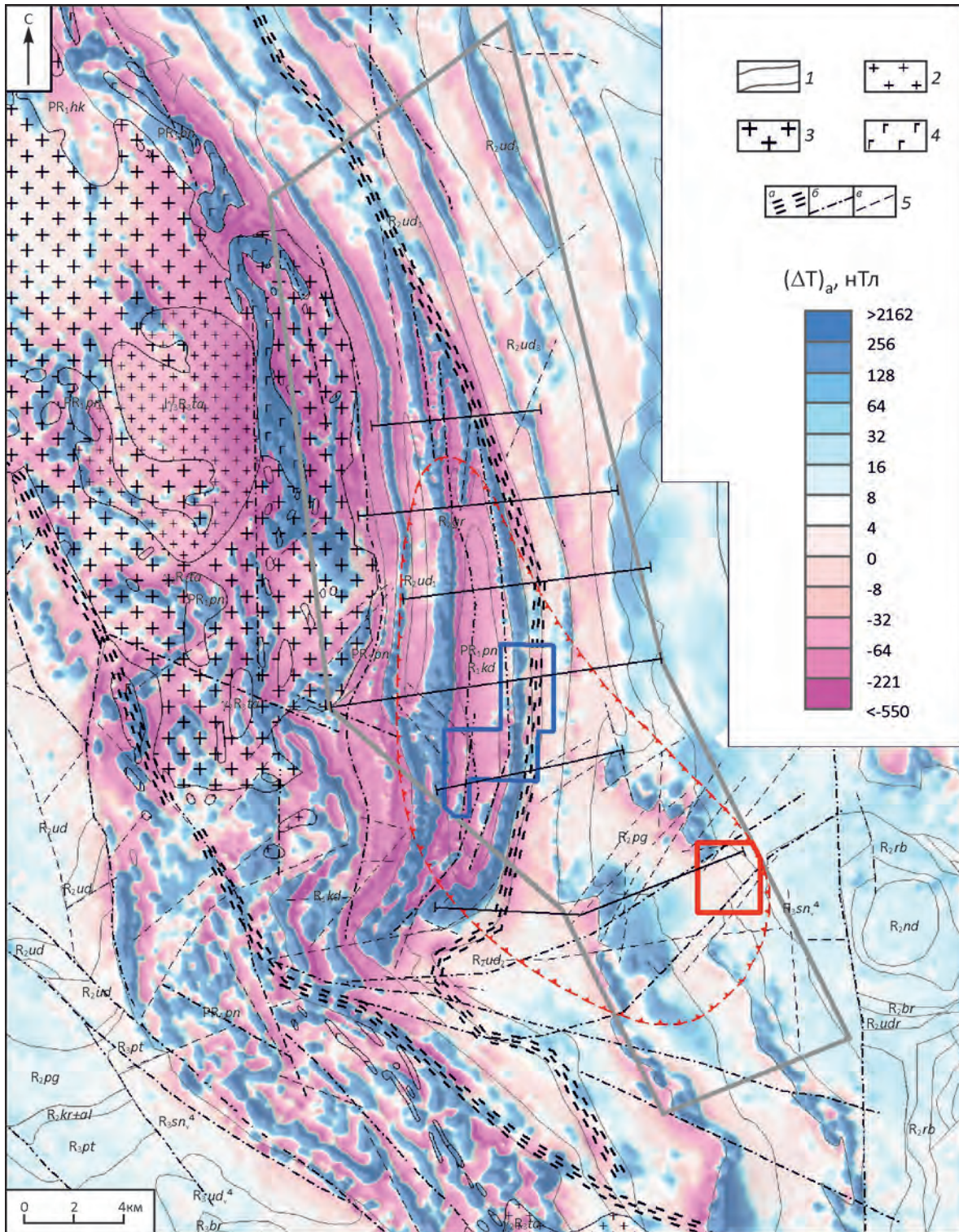


Рис. 3. Карта аномального магнитного поля в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади. По материалам аэро съемки масштаба 1: 25 000 (В.В.Ромашко и др., 2006):

1 – геологические границы свит и их индексы; 2–3 – гранитоиды татарско-аяхтинского комплекса: 2 – третьей (лейкократовые равномернозернистые граниты, граносиениты, сиениты) и 3 – второй (граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты) фаз; 4 – выходы интрузивов индыглинского комплекса (ортоамфиболиты, метагаббро); 5 – тектонические нарушения, выделенные по комплексу геолого-геофизических данных: а – осевые зоны региональных разломов I–II порядков, б – разрывные нарушения III-го порядка, в – секущие разрывы; см. услов. обозн. к рис. 2

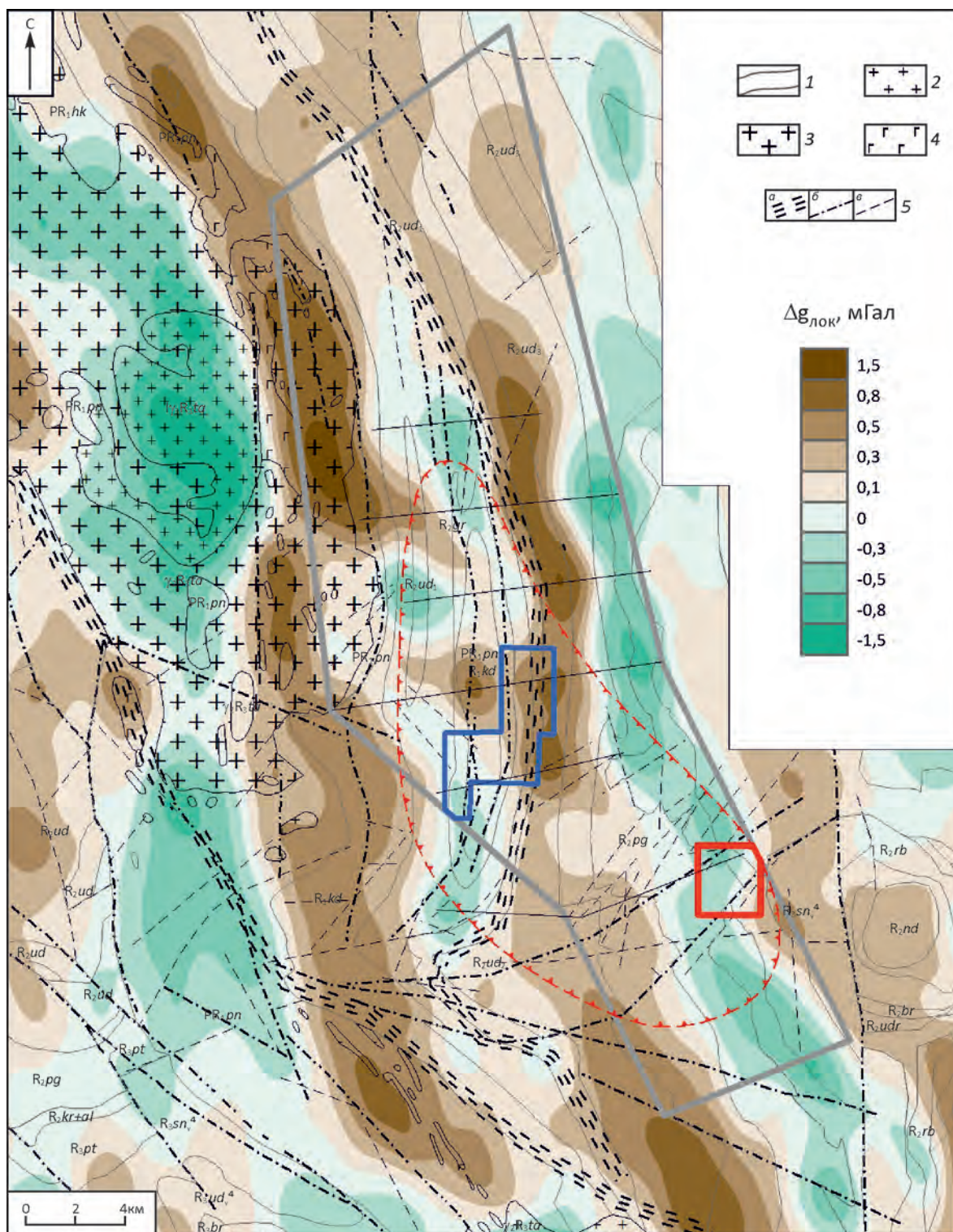


Рис. 4. Карта локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$) в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади ($R_{\text{ср}}$ - 2 км). По материалам съемки масштаба 1: 200 000 и с использованием результатов профильной съемки:

1 – геологические границы свит и их индексы; 2–3 – гранитоиды татарско-аяхтинского комплекса: 2 – третьей (лейкократовые равномернозернистые граниты, граносиениты, сиениты) и 3 – второй (граниты биотитовые, биотит-роговообманковые мелко-, среднезернистые, реже лейкограниты) фаз; 4 – выходы интрузивов индыглинского комплекса (ортоамфиболиты, метагаббро); 5 – тектонические нарушения, выделенные по комплексу геолого-геофизических данных: а – осевые зоны региональных разломов I–II порядков, б – разрывные нарушения III-го порядка, в – секущие разрывы; см. услов. обозн. к рис. 2

На *втором этапе* поисковых работ в пределах перспективных поисковых участков осуществлялись площадные литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, проходка линий копушей глубиной 0,8–1 м, геолого-поисковые маршруты масштаба 1:10 000. Площадные литохимические поиски по ВОР велись по нестандартной сети 200×20 м, глубина опробования – 0,3–0,4 м. Проходка линий копушей глубиной 0,8–1,0 м осуществлялась по нижним бортам склонов с интервалом 20–40 м между копушами с целью шлихового и литохимического опробования по ВОР нижнего надкоренного малосмещенного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений [11]. По результатам поисков второго этапа были локализованы вторичные ореолы рассеяния ($>0,1$ г/т) и шлиховые (>10 знаков металла на шлиховую пробу) ореолы золота, отвечающие положению потенциально золотоносных минерализованных зон.

На *третьем этапе* поисков с целью локализации минерализованных зон выполнялась проходка линий шурфов до коренных пород с интервалом 10–20 м между шурфами и бульдозерных расчисток глубиной 1 м со шлиховым и литохимическим по ВОР опробованием нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов на глубине 1,0–1,4 м, а также борздовым опробованием коренных пород в полотне шурфов. По результатам опробования были выделены наиболее минерализованные участки с содержанием золота $>0,1$ г/т в первичных и вторичных ореолах рассеяния для вскрытия бульдозерными расчистками. Поиски этого этапа позволили локализовать золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное, выделяемые по содержаниям $>0,1$ г/т золота в первичных ореолах.

Важным представляется то, что результаты литохимического по ВОР опробования нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений существенно отличаются от данных стандартного опробования на глубине 0,3–0,4 м, выявляя наиболее высокие аномальные концентрации золота, установленные именно по результатам литохимического опробования на контакте с коренными породами по горным выработкам. Аномалии золота во вторичных ореолах практически совпадают с повышенными содержаниями металла в первичных ореолах.

Завершающий *четвертый этап* поисков – комплекс горно-буровых работ. Наиболее минерализованные участки в пределах золотоносных зон были вскрыты траншеями до коренных пород. По результатам борздового опробования полотна траншей выявлены эпицентры повышенных содержаний золота в ПО ($>0,3$ г/т). Последние были «подсечены» несколькими буровыми скважинами. В результате выявлена серия потенциально рудных зон.

В заключение методической части настоящей статьи следует отметить, что новыми и наиболее эффектив-

ными особенностями используемой методики являются: 1) комплексирование методов поисков по опорным профилям, позволяющее уже на раннем этапе изучения поисковых площадей определить наиболее перспективные потенциально рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций и поисковые участки в их пределах; 2) литохимическое по вторичным ореолам рассеяния опробование нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений, позволяющее максимально точно локализовать золотоносные минерализованные зоны, непосредственно определить участки для последующих горно-буровых работ и, соответственно, минимизировать затраты на проведение геологоразведочных работ.

Геолого-геофизические особенности локализации золотоносных минерализованных зон. Рудопроявление Южное в структурном плане приурочено к восточному крылу Певунской горст-антиклинали первого порядка в зоне динамического влияния (около 6 км восточнее) Ишимбинской системы рудоконтролирующих разломов. Непосредственно рудопроявление приурочено к рудоконтролирующей ЗСРД север-северо-западного простирания, представляющей собой одну из ветвей Ишимбинской системы разломов. Зона расщепления длиной более 4 км с установленной шириной около 1,5 км характеризуется интенсивной тектонической проработкой, смятием, наличием флексурных перегибов. Она осложнена системой секущих предположительно сингранитных восток-северо-восточных разрывных нарушений (рис. 5). Восточное крыло Певунской горст-антиклинали представляет собой пологую моноклиаль. Падение пород варьирует от 20° до 60° , что обусловлено мелкой осложняющей складчатостью.

Рудопроявление Южное расположено в зоне развития низкотемпературных метаморфических образований – серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, что может являться косвенным благоприятным фактором для золотого оруденения [1, 4, 9, 13]. Один из главных признаков рудообразующего процесса – интенсивно проявленная буропатитизация, протекающая одновременно с серицитизацией, хлоритизацией и пиритизацией, развивающаяся в условиях «зоны хлорита». Количество порфириобласт анкерита в участках наиболее интенсивной буропатитизации достигает 40–60%. Первичная ромбическая морфология порфириобластов при последующих пластичных деформациях приобретает округлые очертания (рис. 6). Наиболее детально этот вопрос освещен в работах А.И.Иванова, в которых показано, что формирование золоторудных месторождений происходит в пределах рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций при наложении на них низкотемпературных процессов сингранитного этапа, наиболее интенсивно проявленных в секущих тектонических структурах [5, 6, 13].

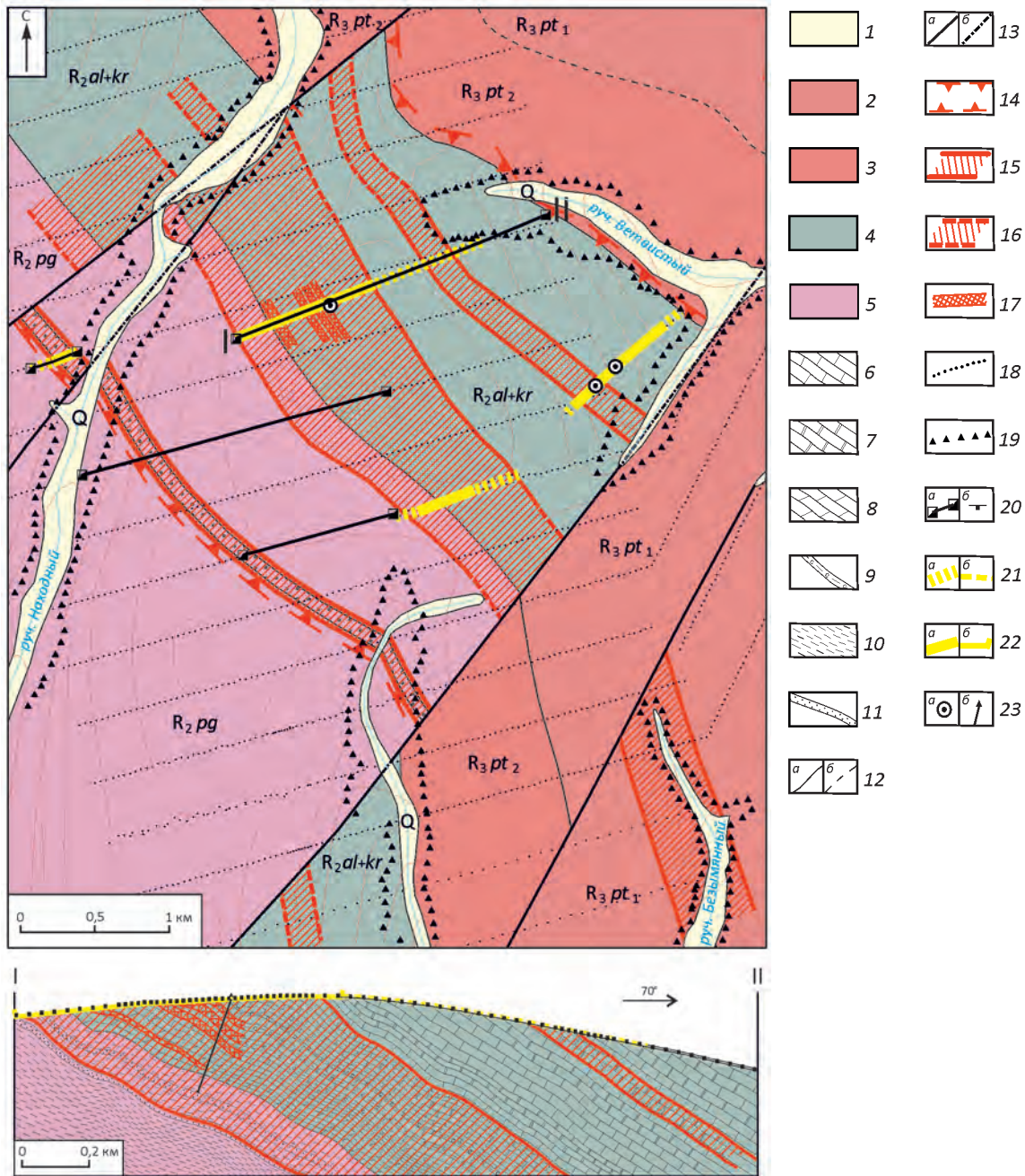


Рис. 5. Геологическая схема поискового участка Южный и геологический разрез по линии I-II:

1 – четвертичные рыхлые отложения; 2–5 – углеродистые карбонатно-терригенные отложения рифея: 2–3 – тунгусикская серия, потоскуйская свита: 2 – верхняя подсвита: глинистые сланцы с прослоями известняков, 3 – нижняя подсвита: алеврито-глинистые сланцы с прослоями известняков и доломитов, 4–5 – сухопитская серия: 4 – свиты аладынская и карточки объединенные: известняки участками мраморизованные, известковистые доломиты с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев, 5 – погорюйская свита: алеврито-глинистые сланцы; 6–11 – литологические обозначения (на разрезе): 6 – известняки, 7 – мраморизованные известняки, 8 – известковистые доломиты, 9 – углеродсодержащие известковисто-глинистые сланцы, 10 – алеврито-глинистые сланцы, 11 – кварцитовидные песчаники с прослоями кварцитов; 12 – геологические границы: а – установленные, б – предполагаемые; 13 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 14 – рудоконтролирующая зона рассланцевания (на плане); 15–16 – золотоносные минерализованные зоны: 15 – установленные, 16 – предполагаемые; 17 – потенциально рудные зоны; 18 – точки литохимического опробования по ВОР; 19–23 – горные выработки: 19 – копуши глубиной 0,8–1,0 м, 20 – шурфы: а – на плане, б – на разрезе, 21 – бульдозерные расчистки глубиной 1 м: а – на плане, б – на разрезе, 22 – бульдозерные траншеи, пройденные до коренных пород: а – на плане, б – на разрезе, 23 – скважины: а – на плане, б – на разрезе

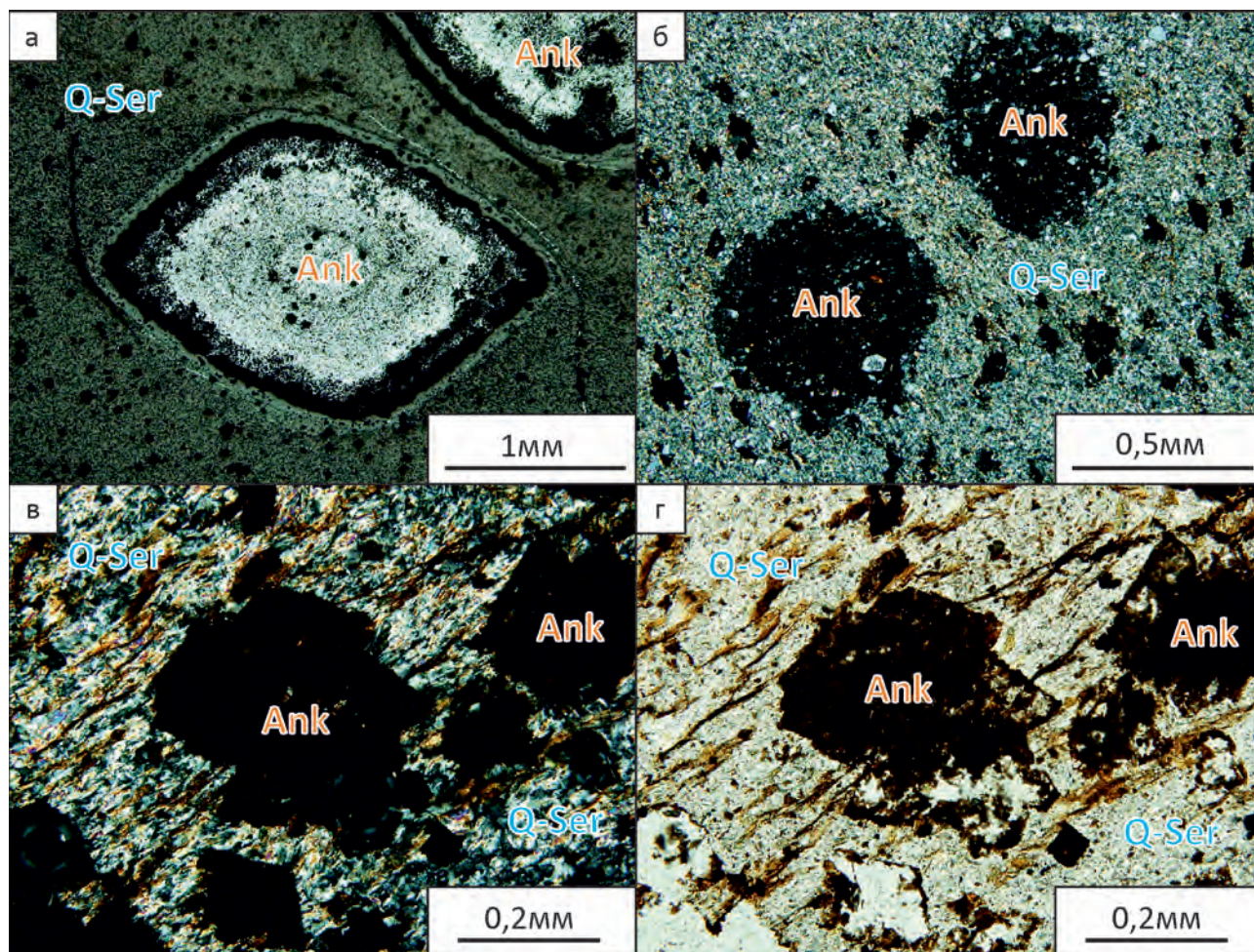


Рис. 6. Формы выделений бурого шпата:

а – порфиробласты окисленного бурого шпата (псевдоморфозы гетита по анкериту); б – выщелоченные порфиробласты бурого шпата в кварц-серицитовых сланцах; в-г – кварц-серицитовые сланцы с порфиробластами окисленного бурого шпата; Ank – анкерит, Q-Ser – кварц-серицитовый агрегат

В пределах золотоносных минерализованных зон содержание бурого шпата (анкерит, сидерит) достигает 60%, а на удалении от них – обычно до 10–20%. Пирит и ассоциирующий с ним бурый шпат отличаются повышенным содержанием тонкодисперсного и субмикроскопического золота (рис. 7). В зонах развития кварцевой жильно-прожилковой минерализации бурый шпат слагает зальбанды жил и прожилков.

Сульфидизация – один из наиболее интенсивно проявленных процессов в пределах рудоконтролирующей ЗСРД. Сульфидная минерализация развита в основном в виде разноразмерной вкрапленности пирита. В пределах золотоносных минерализованных зон преобладает тонкая (не более 1 мм) вкрапленность пирита, составляющая в среднем 2–3%. Вкрапленность как кубической, так и осложненных форм (кубиктаэдри, пентагондоде-

каэдри и др.). В пределах кварцевых жильно-прожилковых зон вкрапленность пирита развита, как правило, в их экзоконтактах. По данным микроскопических исследований пирит содержит тонкодисперсное золото.

Золотоносные минерализованные зоны рудопроявления Южное представляют собой интенсивно измененные бурошпатизированные, серицитизированные, неравномерно окварцованные, сульфидизированные породы. Содержание сульфидной вкрапленности в пределах минерализованных зон в среднем составляет около 3–5%. Причем вкрапленность пирита приурочена как к зонам развития тонких кварцевых прожилков, слагая их экзоконтактовые части в виде ореолов, так и вне связи с ними. Выявленные минерализованные зоны локализованы в углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладынской и карточки и

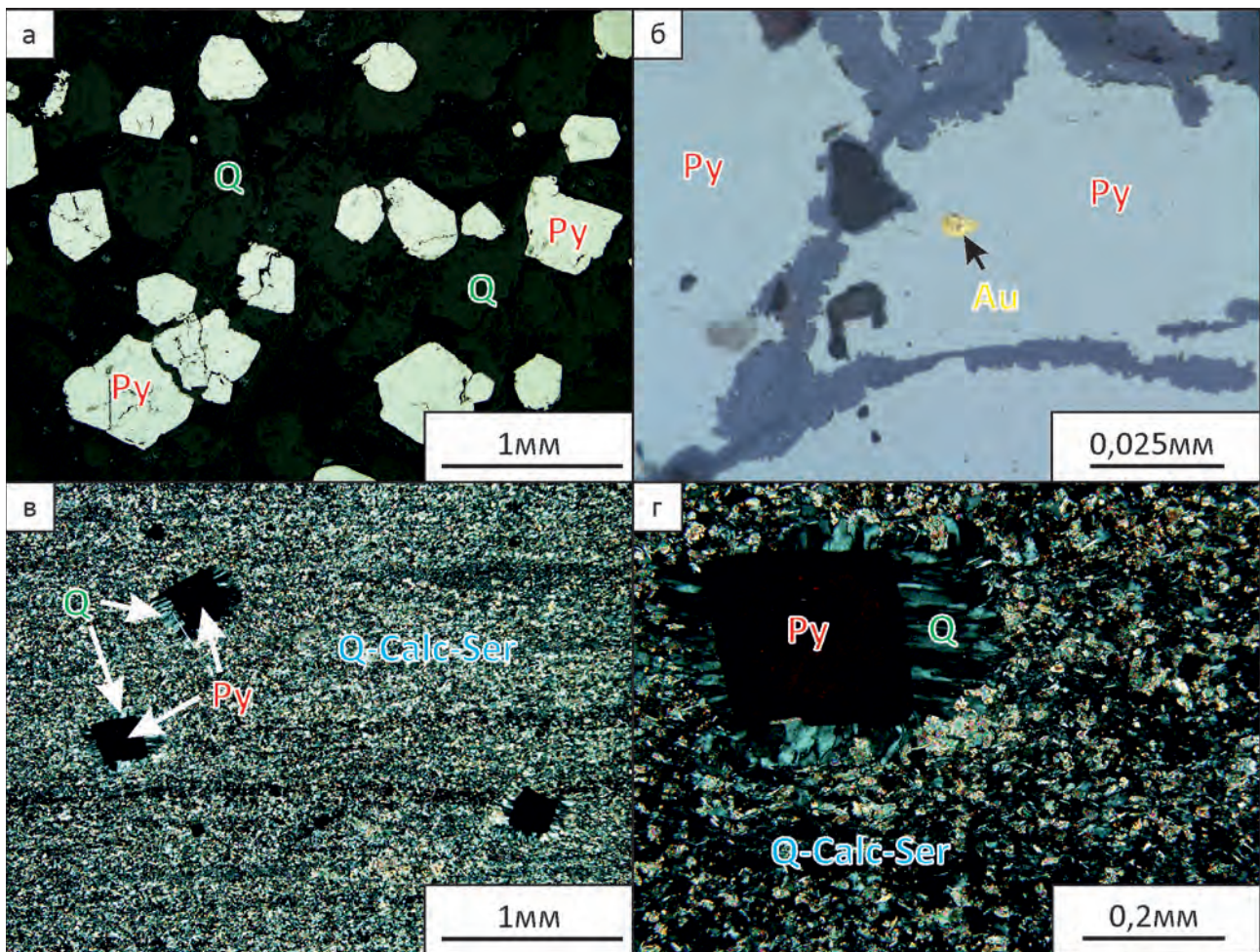


Рис. 7. Формы выделений пирита:

а – формы выделений кристаллов пирита; б – субмикроскопическое выделение золота в кристалле пирита; в-г – кварц-кальцит-серицитовые сланцы с кристаллами пирита с «венчиками» кварца стебельчатой структуры; Py – пирит, Q – кварц, Au – золото, Q-Ser-Calc – кварц-серицит-кальцитовый агрегат

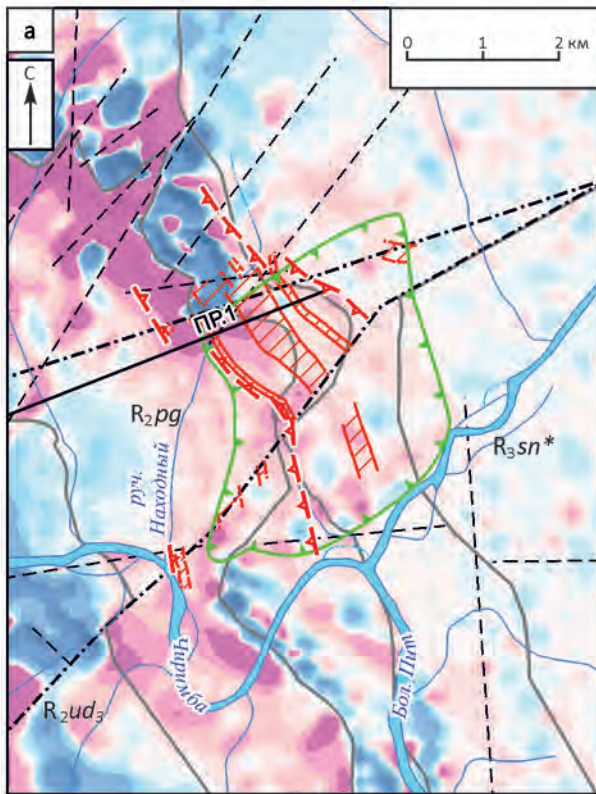
«тяготеют» к приконтактовой зоне с нижележащей терригенной толщей погорюйской свиты.

Наиболее перспективной для обнаружения промышленного золотого оруденения является зона Центральная, выявленная в центральной части рудопоявления. Ширина ее выхода на дневную поверхность составляет

около 800 м, протяженность превышает 2000 м. Прослеженная длина по падению составляет более 150 м. Зона имеет субсогласную слоистости ориентировку. Морфологически зона характеризуется сложным линейно-изометричным штокверкоподобным строением и представляет собой субсогласную залежь (зону) рассеянной

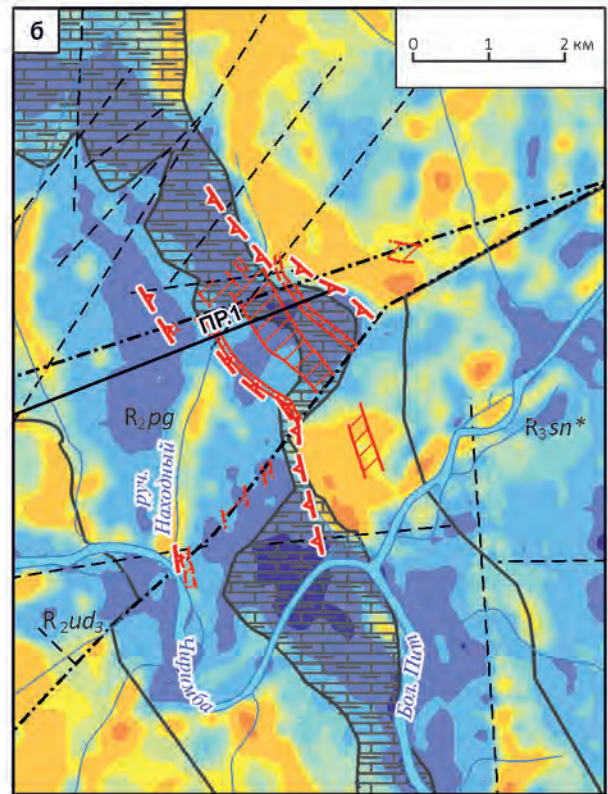
Рис. 8. Отражение рудопоявления Южное в геофизических полях:

а – локальная составляющая аномального магнитного поля (продолжение вверх на 100 м с последующим вычитанием); б – естественная радиоактивность (МЭД); в – график кажущегося удельного сопротивления по опорному профилю 1; г – график $\Delta g_{\text{лок}}$ по опорному профилю 1; 1 – границы геологических свит и подсвит: верхнеудерейская подсвита удерейской свиты (R_{2ud_3}), погорюйская свита (R_{2pg}), объединенные свиты аладьинская и карточки (R_{2al+kr}), потоскуйская свита (R_{3pt}), шунтарская свита (R_{2sn^*}); 2 – выходы свит аладьинской и карточки объединенных (R_{2al+kr}); 3 – разрывные нарушения: а – всбросо-сдвиги, б – секущие разрывы; 4 – область разрушения структурного рисунка магнитного поля; 5 – предполагаемая рудоконтролирующая зона рассланцевания; 6 – золотоносные минерализованные зоны: а – установленные, б – предполагаемые; 7 – линия опорного профиля 1



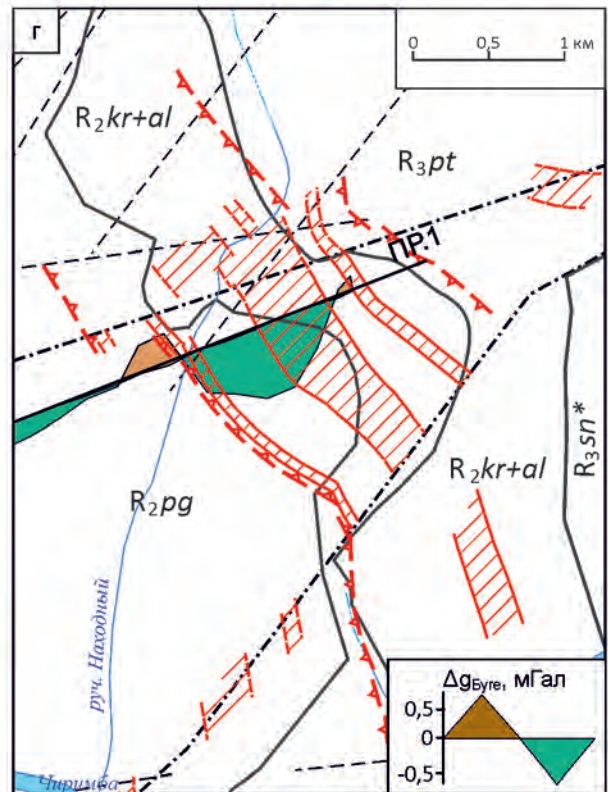
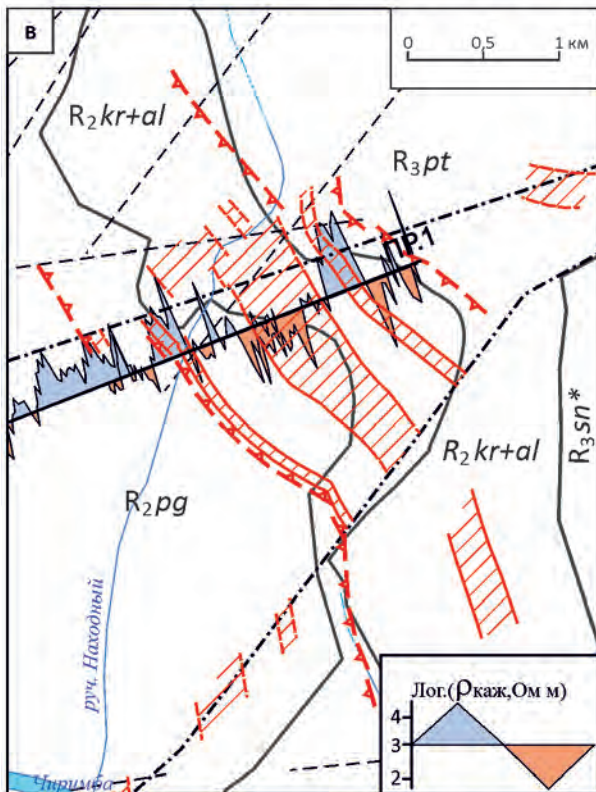
(ΔT)_a, нТл

< -3 -2 -1,5 -0,5 0 1 1,5 3 8 >50



МЭД, мкр/ч

< 4 6 7 7,5 8 8,5 9 11 15 23



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

сульфидной вкрапленности. Она не имеет четких границ и оконтурена по содержаниям золота в первичных ореолах от 0,1 г/т по данным бороздового и кернового опробования (пробирно-атомно-абсорбционный анализ).

В пределах зоны Центральная выявлены потенциально рудные зоны, представляющие собой стержневые (осевые) золотокварцевые жильно-прожилковые зоны, отвечающие эпицентру наиболее высоких содержаний золота ($>0,3$ г/т). Потенциально рудные зоны приурочены к прослоям углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев. Мощность этих зон достигает 40 м, протяженность – до 150 м. Всего выделено 4 потенциально рудные зоны, которые на глубине предположительно формируют единую зону мощностью около 80 м.

Выявленные субсогласные золотоносные минерализованные зоны предварительно могут быть отнесены к золото-кварц-сульфидному типу с осевыми жильно-прожилковыми зонами с наиболее высокими содержаниями золота.

В геофизических полях рассматриваемый перспективный участок в пределах зон складчато-разрывных деформаций характеризуется следующим рядом признаков:

1. В аномальном магнитном поле выделяется участок «выпадения» (разрушения или «распада») магнитных маркирующих горизонтов в составе погорюской и аладьинской свит (рис. 8, а) в результате гидротермально-метасоматического преобразования первичного осадочно-метаморфогенного пирротина в пирит. Область «распада» структурного рисунка магнитного поля почти точно оконтуривает рудопоявление.

2. Центральная минерализованная зона отмечается низкой радиоактивностью (<4 мкР/ч) за счет существенно карбонатного состава вмещающих пород, а также в результате наложенной железомagneзиальной карбонатизации. При обработке материалов данных аэрогамма-спектрометрической съемки методом АРК было установлено, что Центральная минерализованная зона тяготеет к краю области, слабо обогащенной калием и ураном (см. рис. 8, б). Повышение урана и калия, вероятно, обусловлено наложенной серицитизацией пород в результате синрудного метасоматоза.

3. По результатам профильных наблюдений установлено, что минерализованные зоны тяготеют к гравитационному минимуму над выходами кварцитовидных песчаников и кварцитов в составе аладьинской свиты, которые также отчетливо выделяются аномалиями высокого кажущегося сопротивления (см. рис. 8, в–г). Пониженная плотность пород, несмотря на широко проявленную железомagneзиальную карбонатизацию в пределах зон складчато-разрывных деформаций, скорее всего, связана с повышенной расланцованностью и трещиноватостью пород. Наиболее перспективная Центральная минерализованная зона выделяется участком пониженного сопротивления за счет ее

локализации в расланцованных слабо углеродистых известковисто-глинистых сланцах. Несмотря на обогащенность минерализованных зон пиритом, они не выделяются аномалиями поляризуемости. Напротив, над Центральной минерализованной зоной наблюдается понижение поляризуемости. Причиной этого, по-видимому, является большая мощность зоны гипергенеза в пределах минерализованных зон и повышенная степень окисленности сульфидов.

По результатам геофизических исследований можно заключить, что наиболее информативным геофизическим признаком наложенных гидротермально-метасоматических процессов является «распад» структурного рисунка магнитного поля. Кроме того, обращает на себя внимание пониженная плотность рудовмещающих пород, что может свидетельствовать об их высокой проницаемости для рудонесущих флюидов.

Результаты выполненных исследований позволяют выделить основные геолого-геофизические признаки золотой минерализации рудопоявления Южное. К ним относятся: 1) локализация в зоне динамического влияния Ишимбинского глубинного рудоконтролирующего разлома в узле пересечения секущими разрывами северо-восточного направления; 2) приуроченность к пологому крылу антиклинали в ЗСРД, осложненной флексурными перегибами и мелкой складчатостью; 3) локализация в углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладьинской и карточки среднего рифея; 4) пространственное удаление (>10 км) от крупного, выходящего на поверхность интрузивного гранитоидного массива; 5) приуроченность к хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма; 6) субсогласные штокверкоподобные минерализованные зоны (прожилково)-вкрапленной сульфидной минерализации золото-кварц-сульфидного типа с линейными стержневыми маломощными кварцевыми жильно-прожилковыми зонами, характеризующимися наиболее высокими концентрациями золота; 7) зона «распада» структурного рисунка магнитного поля, область низкой пониженной радиоактивности, аномалии пониженного сопротивления и поляризуемости, гравитационный минимум в поле силы тяжести.

Таким образом, установлены прогнозно-поисковые геолого-геофизические признаки, по сочетанию которых можно проводить прогнозирование аналогичных объектов в зоне влияния Ишимбинского разлома.

В заключение отметим следующее. В качестве аналогов исследуемого объекта, по мнению авторов, следует рассматривать крупнообъемные золоторудные месторождения золотосульфидного типа с минерализованными зонами послойной сульфидной вкрапленности (Олимпиадинское, Ведугинское) в отложениях терригенно-карбонатного состава [14, 18]. Некоторые особенности геологического строения и специфики золотой минерализации рудопоявления Южное, такие как существенно карбонатный известково-глинистый

состав рудовмещающих толщ, стратифицированный характер минерализованных зон и рудных тел, прожилково-вкрапленное оруденение, сульфидный состав руд с тонкодисперсными (микронными) выделениями золота в сульфидах, могут быть сопоставимы с месторождениями и проявлениями «карлинского» типа [8, 17].

Наиболее важным научно-практическим результатом исследований представляется установленный факт золотоносности углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложений свит аладьинской и карточки среднего рифея, считавшихся ранее неперспективными на выявление золоторудной минерализации. В этой связи очевидны перспективы золотоносности восточного склона Енисейского кряжа, особенно в области зоны влияния Ишимбинского глубинного рудоконтролирующего разлома.

Рудопроявление Южное требует дальнейшего изучения как с научной (изучение вмещающих пород и руд, роль углеродистого вещества в процессе формирования золотоносных минерализованных зон и др.), так и с практической точки зрения (выявление промышленных золоторудных тел в пределах установленных золотоносных минерализованных зон).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982.
2. Геологическое строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полюс» в Красноярском крае // В.К.Совмен, Ю.М.Страгис, А.А.Плеханов и др. – Красноярск: Полюс, 2009.
3. Геолого-структурная позиция и типизация золоторудных полей восточной части Енисейского кряжа / А.М.Сазонов, Е.А.Звягина, Т.В.Полева и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. С. 94–101.
4. Забияка А.И., Курганьков П.П., Гусаров Ю.В. Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья. – Красноярск: КНИИГиМС, 2003.
5. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
6. 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 тезисов докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2015. С. 61–62.
7. Иванов А.И. Экспрессный метод поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах // Руды и металлы. 2014. № 1. С. 36–42.
8. Константинов М.М. Золоторудные месторождения типа карлин и критерии их выявления // Руды и металлы. 2000. № 1. С. 70–76.
9. Летников Ф.А. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. 2000. № 1. С. 3–22.
10. Ли Л.В., Нелюбов В.А. Структурные особенности локализации золотого оруденения некоторых месторождений Енисейского Кряжа // Геология и геофизика. 1970. № 10. С. 45–51.
11. 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-Ишимбинской площади // Руды и металлы. 2015. № 4. С. 39–50.
12. Модели месторождений золота Енисейской Сибири / С.С.Сердюк, Ю.Е.Коморовский, А.И.Зверев и др. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010.
13. Новые данные по технологии прогноза, поисков и оценки большеобъемных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах / А.И.Иванов, В.Е.Васюков, Р.Х.Мансуров и др. // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы. Сборник тезисов докладов научно-практической конференции. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2016. С. 24–26.
14. Прогнозно-поисковые модели основных формационных типов золоторудных месторождений Енисейского кряжа / А.К.Мкртычян, Е.И.Берзон, В.К.Зуев и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции. – Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. С. 46–62.
15. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов, золота, меди, свинца, цинка Российской Федерации (по результатам работ ФГУП ЦНИГРИ за 2012–2015 гг.) / А.И.Иванов, С.С.Вартанян, А.И.Черных и др. // Отечественная геология. 2016. № 5. С. 11–62.
16. 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.
17. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models / J.S.Cline, A.S.Hofstra, J.L.Muntean et al. // Econ. Geol. 2005. Vol. 100. Pp. 451–484.
18. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation / A.S.Borisenko, A.M.Sazonov, P.A.Nevolko et al. // Acta Geologica Sinica. 2014. Vol. 88. № 2. Pp. 686–687.