



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
НПП ВИРГ-РУДГЕОФИЗИКА

virg-npp.ru, 8(812)309-98-39, 197348, Россия, Санкт-Петербург, Аэродромная д. 8 литер А, офис 244

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЛЕБЕДИНСКОГО РУДНО-
РОССЫПНОГО УЗЛА НА ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ЛЕБЕДИНСКОГО И НОВОГО МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ЗОЛОТОГО
ОРУДЕНЕНИЯ
(Республика Саха (Якутия))**

Обобщены результаты поисковых работ, выполненных в пределах Лебединского рудно-россыпного узла в период с 2013 по 2015 год ФГУП «ЦНИГРИ» совместно с ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» и ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика». На основе экспертного и формализованного анализа полученных данных совместно с материалами предшествующих средне- и крупномасштабных геофизических, геохимических и поисковых работ дается прогнозная оценка перспективности площади Лебединского рудно-россыпного узла на выявление золоторудных объектов с лебединским и новым морфологическим типом золотого оруденения. Выделены перспективные на выявление золоторудных объектов участки, в пределах которых рекомендуется выполнить детальные поисковые работы. Приводятся поисковые критерии золоторудных тел различного геолого-промышленного типа. Показана целесообразность продолжения поисков месторождений коренного золота в пределах ЛРУ.

Введение

В период с 1930-х по конец 1950-х годов шло интенсивное геологическое изучение и освоение Центрально-Алданского рудного района (ЦАРР), которое начиналось с расположенного в его центральной части Лебединского рудно-россыпного узла (ЛРУ). В частности, активно велись поисково-разведочные работы, по результатам которых были найдены, оценены и вовлечены в эксплуатацию рудные тела «лебединского» типа (залежи и жилы кварц-сульфидного состава, приуроченные к нижней части доломитовой толщи венда) золоторудных месторождений Лебединского, Колтыконского, Самодумовского, Радостного и многочисленные золотоносные россыпи. В период с 1933 по 1988 годы богатые рудные тела этих месторождений полностью отработаны, извлечено более 32 т золота с средним содержанием 7,7 г/т. К началу 2000-х годов запасы и ресурсы коренного золота ЛРУ были практически полностью исчерпаны.

При этом темпы проведения геологоразведочных работ в пределах ЛРУ неоднократно имели крупные спады вплоть до их полного прекращения, что приводило к эксплуатации недостаточно разведанных золоторудных объектов. Поэтому большое количество рудных тел на месторождениях золота ЛРУ остались изученными недостаточно — вскрыты единичными выработками, не прослежены на глубину и по простиранию. Кроме того, поисковые работы были направлены на выявление богатых золоторудных тел «лебединского» типа, а прожилковой и вкрапленной золоторудной минерализации не уделялось должного внимания. Несмотря на то, что с 1930-х годов рекомендации по постановке поисковых работ на прожилковое и вкрапленное золотое оруденение в

интрузивных телах и породах архейского фундамента неоднократно выдавались различными исследователями [1, 4, 6, 10, 21]. Следует отметить, что в ЦАРР промышленное золотое оруденение в разломах, секущих кристаллический фундамент известно в Эльконском горсте (связанно с урановыми рудами) и Джекондинском рудном узле (месторождение Подголецное), расположенных в непосредственной близости к ЛРУ [15].

В частности, ориентировка поисковых работ на богатые золоторудные тела «лебединского» типа привела к крайне низкой изученности выходов архейского фундамента на дневную поверхность и секущих его крутопадающих разрывных нарушений, а также мощных даек, силлов и лакколитов мезозойского магматического комплекса. Бурение проводилось только по доломитовому платформенному чехлу, при этом скважины редко достигали поверхности фундамента. Таким образом, изучение золоторудных месторождений и их флангов на глубину, а также крупных интрузивных тел мезозойского магматического комплекса в пределах ЛРУ проведено в недостаточном объеме, несмотря на то, что в 1980–1990-е годы шло целенаправленное изучение мезозойских щелочных массивов (например, Верхнеякокутско-Юхтинского (в 1993 году найдено Самолазовское месторождение золота) и др.) в связи с открытием Рябиновского медно-золото-порфирирового месторождения [14].

О возможности пропуска крупного золоторудного объекта в ходе предшествующих геологоразведочных работ свидетельствуют данные ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология». По результатам масштабных поисковых работ, проводившихся этой организацией с 2005 по 2012 годы на площади ЛРУ, в пределах рудопоявления Гора Рудная обнаружен золоторудный объект нового (для ЛРУ) геолого-промышленного (морфологического) типа: крутопадающие зоны убогих вкраплено-прожилковых руд в мезозойских интрузивах и минерализованные зоны дробления с рядовыми рудами в архейском фундаменте. В период с 2012 года по настоящее время ведется разведка месторождения Гора Рудная, запасы золота которого составили более 45 т по категориям C_1+C_2 при среднем содержании 1,22 г/т, а прогнозные ресурсы категорий P_1+P_2 около 116 т.

Обнаружение подобного объекта позволяет предполагать возможность существенного наращивания ресурсов (запасов) золота в пределах ЛРУ и выявления месторождений нового геолого-промышленного типа, пропущенных при проведении предшествующих геологоразведочных работ.

В сложившейся ситуации, когда дальнейшее расширение сырьевой базы золота Алданского района определяется обнаружением и освоением новых месторождений, прогнозная оценка территории ЛРУ на выявление оруденения различного геолого-промышленного типа (прежде всего нового) приобретает первостепенное значение для постановки дальнейших поисковых работ в его пределах.

В частности, в период с 2013 по 2015 год ФГУП «ЦНИГРИ» совместно с ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» и ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» проведены поисковые и прогнозные работы на площади ЛРУ с целью переоценки известных проявлений прожилково-вкрапленных (штокверковых) и жильно-прожилковых золото-сульфидно-кварцевых руд (со сравнительно низкими содержаниями золота), которые, с учетом современных кондиций, представляют промышленный интерес.

Проведены комплексные геофизические (магнитная съемка, электроразведка методом вызванной поляризации (ВП)), геохимические (литохимическое опробование по первичным (ПО) и вторичным ореолам рассеяния (ВОР)) работы по серии опорных профилей широтной ориентировки и на участках детализации; геологические и геолого-поисковые маршруты; специализированные шлихо-минералогические исследования (с

проходкой шурфов и копушей по бортам долин рек и временных водотоков) и др. Кроме того, проведена большая работа по сбору, обобщению и анализу фондовых, а также опубликованных материалов. По результатам выполненных работ были выбраны наиболее перспективные участки для постановки заверочных горно-буровых работ — проходки канав, расчисток и бурения поисковых скважин. На основании этих данных дана прогнозная оценка перспективности ЛРУ на выявление золоторудных объектов различного геолого-промышленного типа, в том числе с новым морфологическим типом золотого оруденения.

1. Краткая геологическая характеристика Лебединского рудно-россыпного узла

Лебединский рудно-россыпной узел расположен в центральной части ЦАРР на СЗ периферии Верхне-Якутской грабен-впадины на участке сочленения разнонаправленных систем разрывных нарушений глубинного заложения (Томмотской (Томмот-Эльконской), Орто-Салинской, Якутской и Ыллымахской). Рудный узел объединяет золоторудные месторождения (Лебединое, Колтыконское, Самодумовское и Радостное (рис. 1)) и многочисленные золотоносные россыпи, основная часть из которых уже отработаны [6, 18].

В геологическом строении ЛРУ принимают участие разновозрастные структурно-вещественные комплексы [6, 10, 11, 18, 21]: сложнодислоцированные метаморфические породы архея и раннего протерозоя (кристаллический фундамент Алданского щита), перекрывающие их горизонтально залегающие вендские, нижнекембрийские и нижнеюрские карбонатно-терригенные породы (платформенный чехол), а также маломощные рыхлые образования кайнозоя.

Все перечисленные комплексы пород, кроме кайнозойских, разбиты сложной сетью разломов и прорваны многочисленными послойными и секущими телами (дайками, силлами, лакколитами, штоками) мезозойского магматического комплекса, представленного порфиоровыми субщелочными породами калиевого ряда [6, 19].

В структурном плане золоторудные месторождения ЛРУ расположены на СЗ периферии Верхне-Якутской грабен-впадины в зоне сочленения Томмотской системы глубинных разломов с Орто-Салинской и Ыллымахской (рис. 1). Локализованы они в приподнятых блоках с уменьшенной мощностью платформенного чехла в узлах пересечения разломов субмеридионального и СВ простирания, играющих основную рудоконтролирующую и рудовмещающую роль [6, 19, 21].

Структуры месторождений характеризуются широким развитием пологих субгоризонтальных зон трещиноватости, которые в сочетании с крутопадающими разрывными нарушениями разных направлений играют существенную роль в размещении мезозойских интрузивов (силлов, лакколитов, штоков, даек и др.) сиенит-монцонитовой формации, являются рудовмещающими и во многом определяют морфологию рудных тел так называемого «лебединского» типа. Эти тела представлены комбинациями сближенных в пространстве простых и сложных жил, одно- и многоярусных залежей, локализованных обычно в доломитах усть-юдомской свиты венда [6, 10, 14, 21].

Спецификой ЛРУ является существенное преобладание окисленных руд (неокисленные руды сохранились лишь на отдельных участках). Нижняя граница зоны окисления в пределах ЛРУ нередко опускается до глубины более 100 м от дневной поверхности.

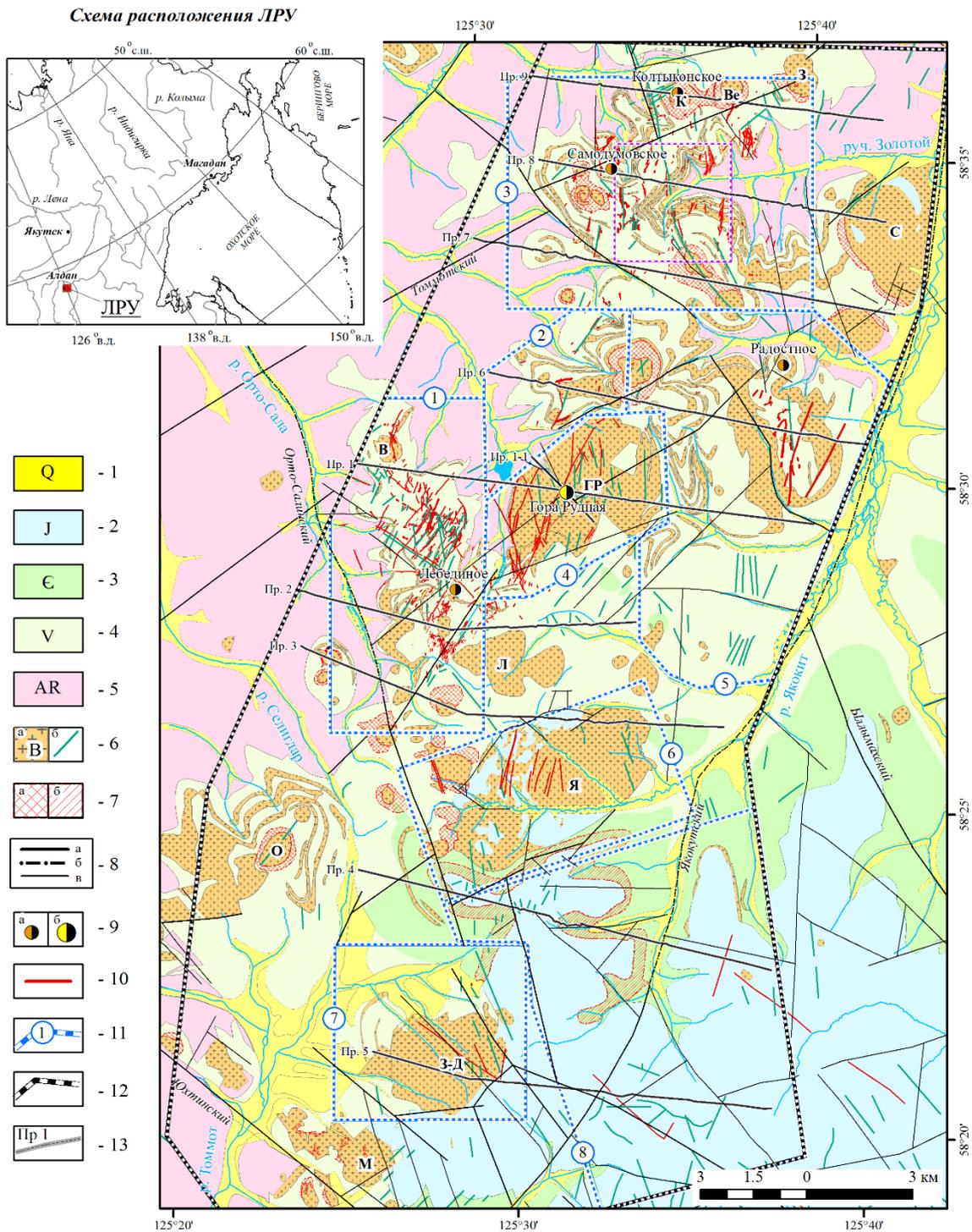


Рис. 1. Схема геологического строения ЛРУ (составленная по данным А.В. Минакова (2012 г.)).

Стратифицированные отложения: 1 – кайнозойские (рыхлые), 2 – юрские (терригенные), 3 – кембрийские (терригенно-карбонатные), 4 – вендские доломиты, 5 – архейские кристаллические сланцы; 6 – образования мезозойского магматического комплекса: интрузии (а) и дайки (б) (название крупных интрузивных тел: В – Вуз, С – Стрелка, З – Золотой, Ве – Верблюды, К – Колтыкон, Я – Верхнеякутский массив, ГР – горы Рудной, Л – Лебединский, О – Ороченский, З-Д – Заметный-Дефективный, М – Мрачный); 7 – гидротермально-метасоматически измененные породы: скарны (а) и гумбеиты (б); 8 – разрывные нарушения: основные (а), скрытые под кайнозойскими отложениями (б) и второстепенные (в); 9 – золоторудные месторождения «лебединского» (а) и нового геолого-промышленного типа (б); 10 – золоторудные тела; 11 – рудные поля: 1 – Орто-Сала-Верхнекурахаское, 2 – Малокурахаское, 3 – Колтыкон-Самодумовское, 4 – Горы Рудной, 5 – Радостное, 6 – Верхнеякутское, 7 – Таежное, 8 – Юрское (потенциальное); 12 – контур ЛРУ; 13 – опорные геолого-геофизические профили.

Главными рудными минералами в неокисленных рудах являются: пирит, пирротин, халькопирит, галенит, гематит, а в окисленных — гетит, гидрогетит, лимонит, глинистые минералы и др. Основными жильными минералами являются: кварц, анкерит, кальцит, тальк, тремолит и др. Содержание сульфидов в рудах изменяется от 5 до 80–100% и в среднем составляет 20–40% [6, 12, 13, 21].

Кроме описанных тел «лебединского» типа на площади ЛРУ известны рудопроявления других морфологических типов: минерализованные зоны в песчаниках нижней юры; штокверки в трубках взрывных брекчий; золото-сульфидная жильно-прожилковая, прожилково-вкрапленная минерализация в магнетитовых скарнах, в крутопадающих зонах дробления секущих архейский фундамент и интрузивные тела сиенит-порфира. Среди них наибольшее промышленное значение имеют два геолого-промышленных типа золотого оруденения, выделенных на месторождении Гора Рудная. Рудные тела месторождения представлены неравномерной прожилково-вкрапленной пирит-кварцевой минерализацией с стержневыми золотоносными пирит-кварцевыми жилами, окруженные ореолом гидротермально-метасоматически измененных пород, мощностью от первых метров до десятков, реже сотен метров. Обычно они содержат 3–5 % пирита (иногда больше), но вблизи дневной поверхности породы в пределах главной рудной зоны (Крутая-Коллективная) интенсивно обожжены, сульфиды окислены, наблюдаются многочисленные секущие мелкие прожилки лимонита.

В пределах ЛРУ выделены следующие РП: Лебединское (Орто-Сала-Верхнекурахское и Малокурахское), Колтыкон-Самодумовское, Горы Рудной, Радостное, Верхнеякутское, Таежное. Кроме того, по результатам работ 2013–2015 годов выделено новое потенциально рудное поле (РП) Юрское (рис. 1). В то же время, расположенные в их пределах золоторудные месторождения и рудопроявления близки по структуре, морфологии, вещественному составу и геохимическим особенностям, поэтому границы между РП проведены условно.

2. Отражение элементов геологического строения ЛРУ в геофизических полях

На карте аномального поля силы тяжести в редукции Буге (плотность промежуточного слоя 2.67 г/см^3) ЛРУ расположен на СЗ крае уникального регионального Якутского гравитационного минимума — региональной аномалии пониженных значений поля силы тяжести интенсивностью более 50 мГал. По данным В.А. Абрамова, Якутский гравитационный минимум объясняется «гирляндами» из крупных трехъярусных палеомагматических очагов, расположенных в интервале глубин 22 – 14, 10 – 4 и 3 – 0 км [1]. Также следует отметить приуроченность других рудных узлов ЦАРР (Нимгерканского, Юхтино-Пуриканского, Ыллымахского, Джекондинского, Рябинового) к его периферической части (рис. 2).

В аномальном магнитном поле (ΔT_a) и локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$) отчетливо отражаются вещественные, структурно-тектонические особенности строения архейского фундамента и щелочные интрузии. Аномалиями линейно-вытянутой формы выделяются смятые в складки породы фундамента различного вещественного состава, системы разрывных нарушений глубинного заложения СЗ и СВ ориентировки (Якутской, Томмотской и др.), а изометричной формы — протерозойские граниты и гранитизированные кристаллические сланцы, крупные интрузивные тела мезозойского магматического комплекса (в том числе не выходящих на поверхность), протерозойские граниты и гранитизированные кристаллические сланцы (рис. 2 – 4).

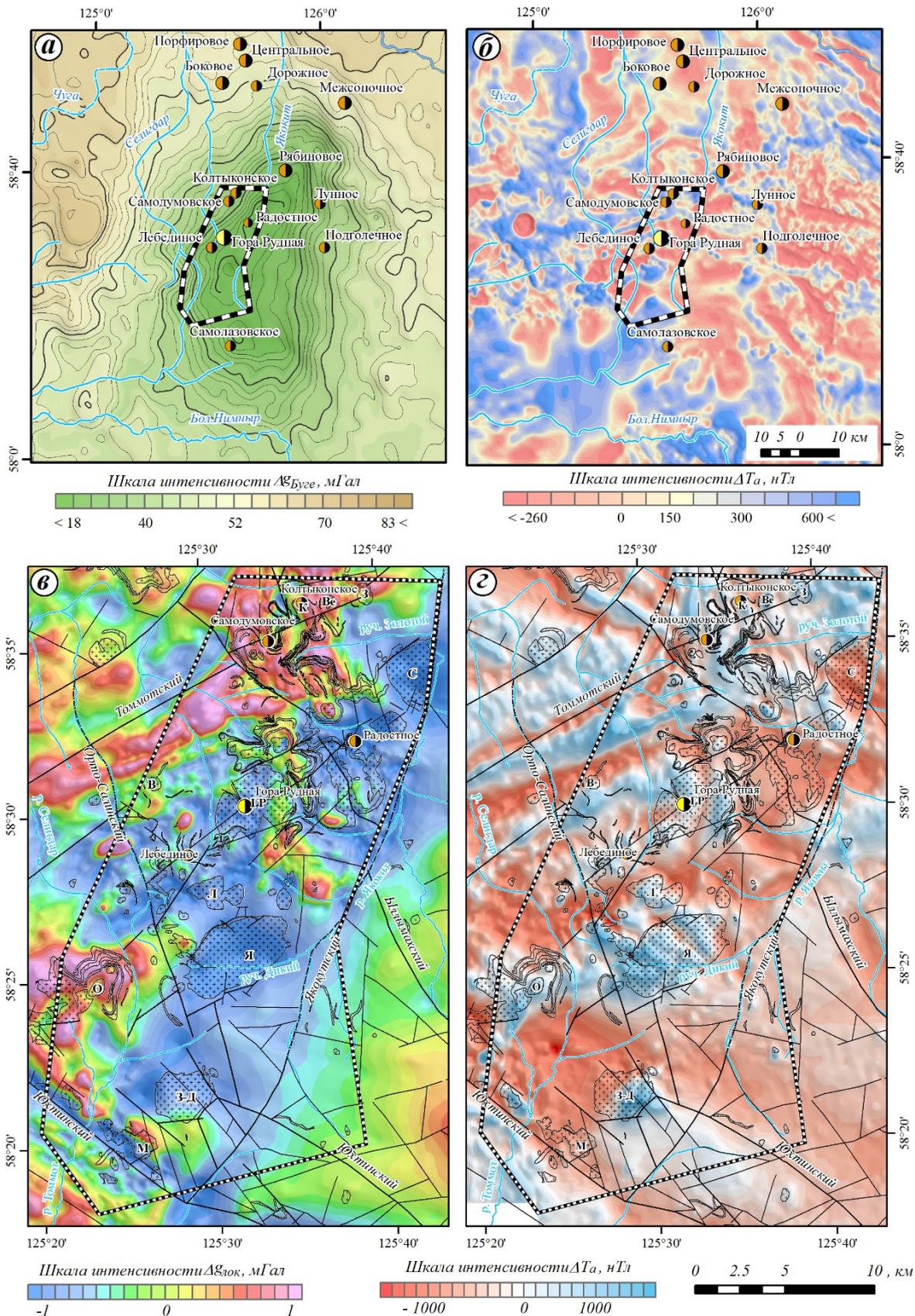


Рис. 2. Аномальное магнитное поле и поле силы тяжести ЦАРР (а, б) и ЛРУ (в, г).

Аномальное поле силы тяжести в редукции Буге (а) и его локальная составляющая (в); аномальное магнитное поле (б, г). Уровень построения карт поля силы тяжести условный. Условные обозначения см. на рис. 1.

Повышенной дисперсией аномального магнитного поля уверенно картируются: выходы на поверхность архейского фундамента; участки, на которых он перекрыт маломощным чехлом вендских карбонатных отложений; ореолы скарнированных пород (рис. 3, 4).

Таким образом, анализ геофизических полей позволил уточнить структурно-тектоническое строение ЛРУ, положение и ориентировку основных систем разрывных нарушений глубинного заложения (рис. 3–4). В частности, в центральной и северной частях ЛРУ выделены линейные зоны дробления и трещиноватости играющие рудоконтролирующую и рудолокализирующую роль: на месторождении Гора Рудная (рис. 5), золотоносных зон Мятежная, Мощная, Пологая (Колтыкон-Самодумовское РП (рис. 6)), а также ряда перспективных зон дробления в пределах Радостного РП.

Месторождение Гора Рудная — главный золоторудный объект нового геолого-промышленного типа в ЛРУ, рудные тела которого сгруппированы в линейный штокверк СЗ простирания (мощностью 100 – 150 м, протяженностью более 3 км), локализованный в лакколитоподобном массиве лейкократовых сиенит-порфиров и крутопадающих минерализованных зонах дробления в архейском фундаменте.

По данным комплексных геофизических работ на опорном и эталонном профилях 1, 1-1, а также данным детальной площадной гравиметровой и аэрогеофизических съемок масштаба 1:25 000 (магнитных и аэрогамма-спектрометрических съемок (АГС)) показано (рис. 3, 5), что основная рудоконтролирующая структура Крутая-Коллективная выделяется локальной аномалией пониженных значений кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k), площадной аномалией повышенных значений кажущейся поляризуемости (η_k), линейной отрицательной аномалией $\Delta g_{лок}$ и вытянутой в СЗ направлении областью с доминирующей калиевой природой радиоактивности (указывающей на интенсивные изменения пород гидротермально-метасоматическими процессами в ее пределах).

По результатам ЭТ, выполненной на эталонном профиле 1-1, основные золоторудные зоны и рудоконтролирующих структур месторождения Гора Рудная отчетливо не выделились на геоэлектрических разрезах распределения поляризуемости (η) и удельного электрического сопротивления (ρ). Однако, в пределах зон Крутая-Коллективная и Возрождения, на глубине 100 – 150 м от поверхности земли установлена область с повышенными значениями η . Вероятно, ей отвечает ореол гидротермально-метасоматически измененных пород, содержащих сульфидную минерализацию (рис. 5).

На разрезе распределения ρ рудная зона Крутая-Коллективная расположена на границе блока в архейском фундаменте, характеризующегося высокими значениями ρ (около 20000 Ом·м), что может указывать на его «однородность» (не затронут процессами дробления).

Отсутствие интенсивной аномалии η в пределах главной рудной зоны обусловлено мощной (до 100 м и более) зоной гипергенеза в пределах которой большая часть сульфидов окислена. В подтверждение этого можно отметить, что в СЗ части лакколита горы Рудной золоторудные жилы 4 и 2 (пикеты 200 – 300 (рис. 5-V)), для которых характерны «свежие» не окисленные сульфиды (с объемным содержанием до 70 % [21]), выделились интенсивной субвертикальной аномалией поляризуемости.

Таким образом, поисковыми геофизическими признаками золоторудных зон, приуроченных к линейным штокверкам в крупных интрузивных телах мезозойского комплекса, являются: основные — локальные линейно-вытянутые аномалии пониженных значений $\Delta g_{лок}$ и ρ_k , аномалии повышенных значений η_k ; второстепенные — области с доминирующей калиевой природой радиоактивности (по данным АГС).

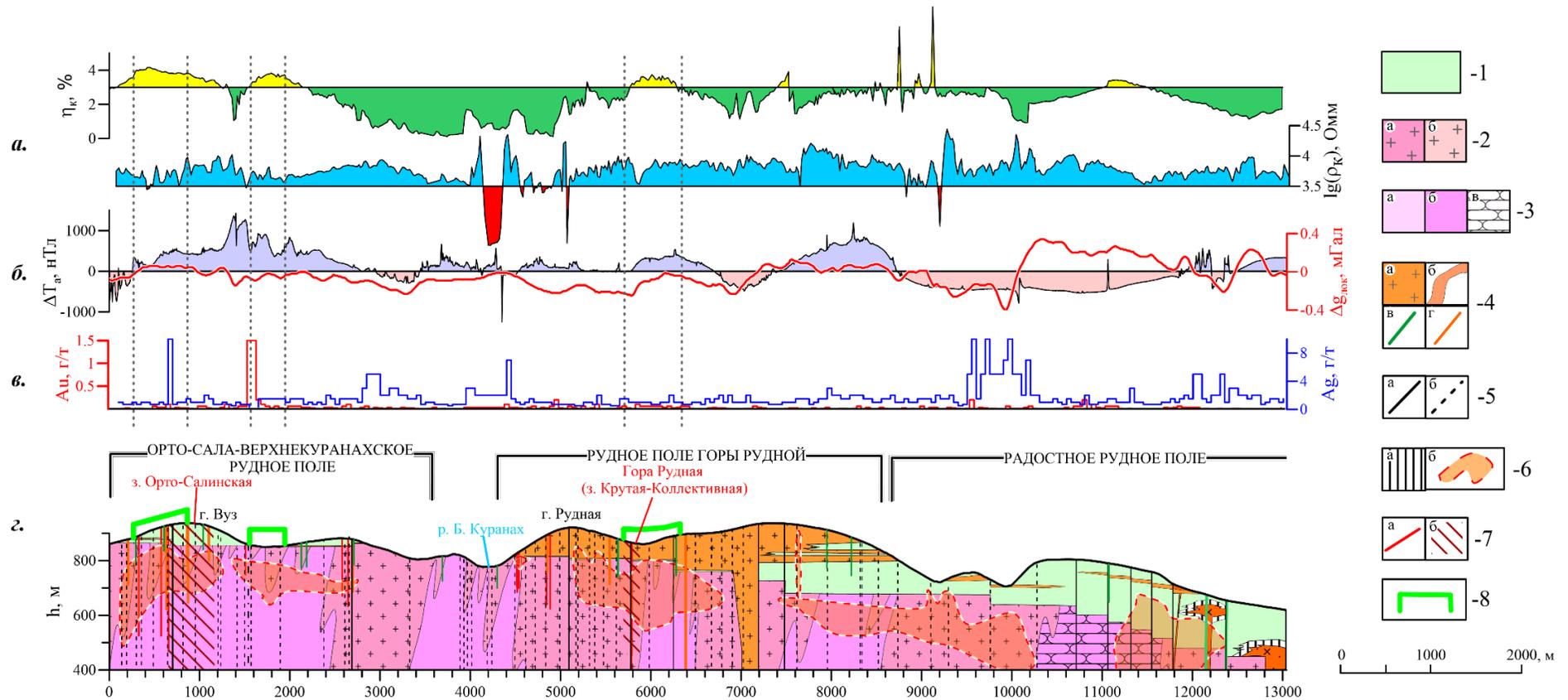
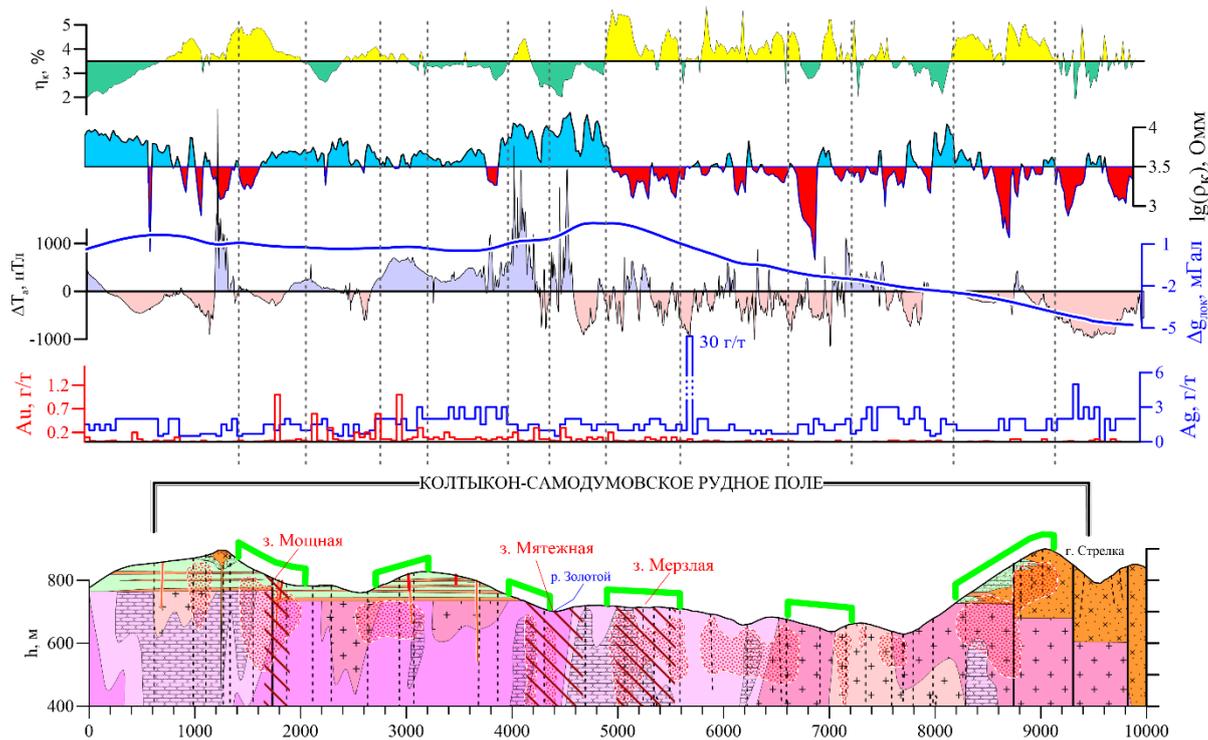


Рис. 3. Результаты комплексных работ вдоль опорного профиля 1.

Графики: а – кажущейся полярзуемости (η_k) и кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k); б – аномального магнитного поля (ΔT_a) и локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$); содержания Au и Ag в ПО и ВОР; геолого-геофизический разрез (г). Условные обозначения: 1 – доломиты усть-юдомской свиты; 2 – протерозойские граниты: обладающие малой (а) и большой (б) магнитной восприимчивостью (μ); 3 – супракрустальные породы федоровской свиты: а – диопсидроговообманковые кристаллические сланцы и плагинейсы (низкая μ , повышенная плотность (σ)); б – двупироксен-роговообманковые, биотит-амфиболовые кристаллические сланцы (высокая μ , пониженная σ); в – мраморы, кальцифилы, диопсидовые кристаллические сланцы (низкая μ , высокая σ); 4 – интрузивные тела мезозойского магматического комплекса: крупные (а) и малые интрузии (б), дайки (в – высокая μ ; г – низкая μ , высокое ρ); 5 – разрывные нарушения: осложненные вертикальными перемещениями блоков (а) и без смещения блоков (б); 6 – гидротермально-метасоматически измененные породы: а - магнетит содержащие скарны (высокая μ , высокая σ), б – зоны объемной сульфидизации пород (повышенная и высокая η); 7 – золоторудные тела жильного типа (а), золотонесные зоны и их названия (б); 8 – интервалы профилей, перспективные на выявление золоторудной минерализации.

а. Опорный профиль №8



б. Опорный профиль №6

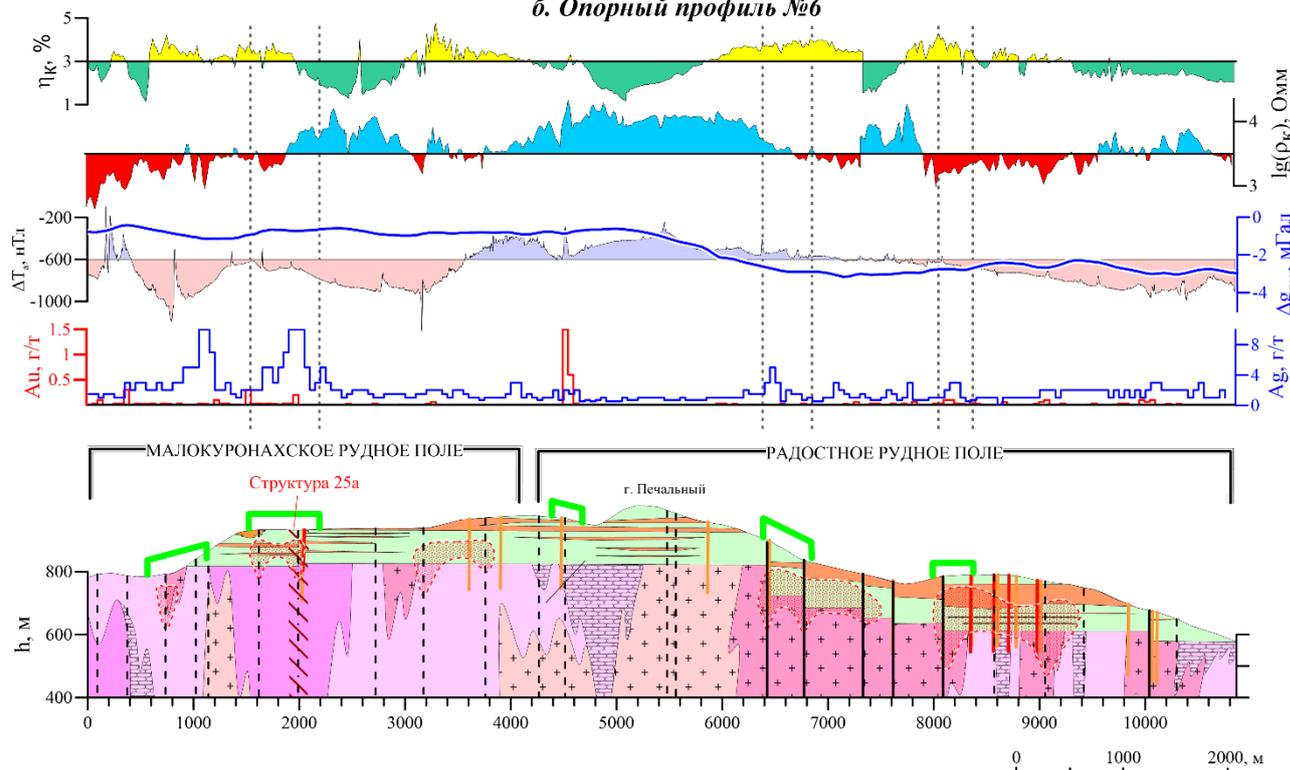


Рис. 4. Результаты комплексных работ вдоль опорных профилей 8 (I) и 6 (II).
Условные обозначения см. на рис. 2.

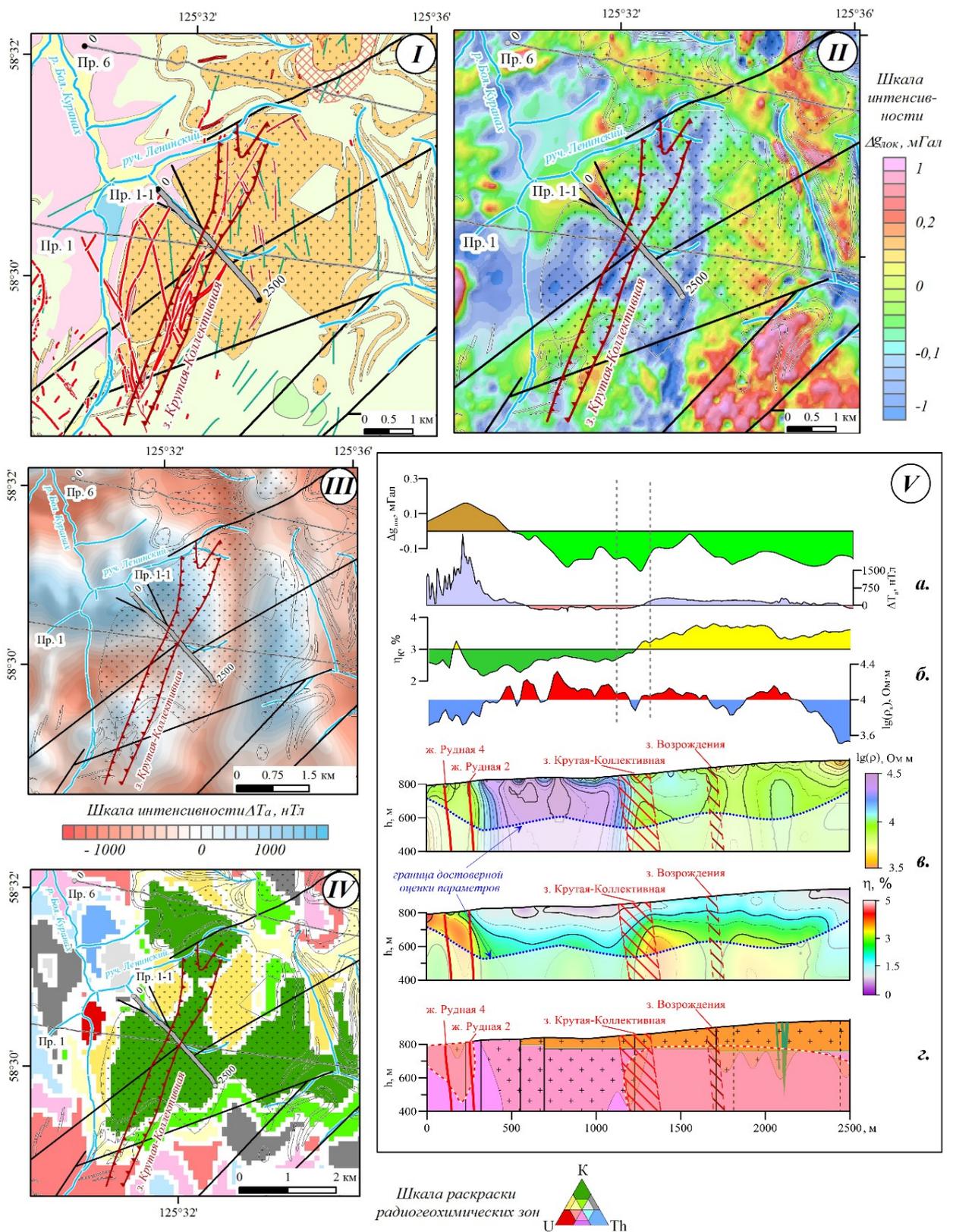


Рис. 5. Отражение основных элементов геологического строения РП Гора Рудная в геофизических полях и их трансформантах.

I – схема геологического строения РП Гора Рудная (условные обозначения см. на рис. 1). Карты: II – изолиний локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$),

Продолжение подрисуночной подписи к рисунку 5. III – изолиний аномального магнитного поля (ΔT_a), IV – вторичной радиогеохимической зональности (классификация надфоновых содержаний (K' , Th' , U') выполнена методом «АРК» [16]; шкала раскраски: яркие тона (периферическая часть треугольника) – классы надфоновых содержаний K' , Th' , U' >1.3 sd; бледные тона (центр треугольника) – классы надфоновых содержаний K' , Th' , U' от 0.5 до 1.3 sd (где sd - стандартное отклонение)). V – результаты геофизических работ по профилю 1-1 (пространственное положение профиля приведено на рис. 1), графики: а – аномального магнитного поля (ΔT_a) и локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{лок}$), б – кажущейся поляризуемости (η_k) и кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k) (рассчитанные по данным ЭТ для установки градиента: АВ = 4000 м, MN = 20 м); в – разрезы распределения поляризуемости (η) и удельного электрического сопротивления (η); г – геолого-геофизический разрез (условные обозначения см. на рис. 2).

3. Поисковые признаки золоторудных тел различного геолого-промышленного типа

Золоторудные месторождения «лебединского» типа и других (нетрадиционных) геолого-промышленного типов в пределах ЛРУ достаточно хорошо изучены. Для них разработаны прямые (структурные, литологические, метасоматические) и косвенные локальные поисковые признаки (геохимические и геофизические), среди которых основными являются структурные [1, 6, 10, 13, 18, 21].

Детальная характеристика поисковых критериев и признаков золоторудных тел для ЛРУ дана в многочисленных статьях и монографиях, поэтому приводится лишь их краткое описание с учетом новых геолого-промышленных типов золотой минерализации и результатов выполненных работ [1, 6, 10, 11, 13, 18, 19, 20, 21]. Описанные ниже поисковые признаки использовались при выполнении прогнозной оценки территории ЛРУ на выявление золоторудных объектов различного геолого-промышленного (морфологических) типа, а также выделения перспективных и поисковых участков в его пределах.

Литологические признаки. Многочисленными исследователями золоторудных месторождений ЛРУ доказан литолого-стратиграфический контроль золоторудных залежей «лебединского» типа, выражающийся в приуроченности уровней рудолокализации к определенным частям разреза рудовмещающей доломитовой толщи венда. Золотоносные залежи обычно приурочены к ослабленным проницаемым зонам, образованным вблизи горизонтов пород, существенно различающихся по физико-механическим свойствам — к кремнистым и глинистым прослоям, горизонтам песчанистых доломитов и др. [6, 9, 12, 19, 20, 21]. Выделяют пять интервалов рудолокализации, среди которых самые продуктивные (к ним приурочено около 65 % от общего количества золотоносных залежей) располагаются на расстоянии 30–65 и 75–100 м от поверхности архейского фундамента [6, 21].

Структурные признаки играют основную рудоконтролирующую и рудовмещающую роль для золоторудных тел различного геолого-промышленного типа. Вид рудовмещающих структур и морфология рудных тел золоторудных месторождений ЛРУ в значительной степени зависит от типа пород, в которых они образованы (доломиты, кристаллические сланцы, сиениты и др.).

Для рудных тел различного геолого-промышленного типа в качестве основных структурообразующих элементов выступают разрывные нарушения и неоднородности по физико-механическим свойствам или вещественному составу рудовмещающей среды, что также определяет разнообразие морфологических типов золоторудных тел (залежи, жилы

и др.). Отчетливо также проявлена рудоконтролирующая и рудолокализирующая роль разрывных нарушений, зон дробления, повышенной трещиноватости и катаклаза как для крутопадающих рудных тел и линейных штокверков в породах фундамента и интрузивных телах, так и для стратоидных залежей в терригенно-карбонатном платформенном чехле. При этом рудоносными обычно являются разнопорядковые разрывные нарушения СВ и СЗ ориентировки, а также узлы их пересечения с разрывными нарушениями другой ориентировки [11, 19, 20].

Залежи «лебединского» типа, залегающие в доломитовой венд-кембрийской толще, также контролируются литолого-стратиграфическими факторами, а также контактами даек и силлов мезозойского магматического комплекса. В зависимости от сочетания этих факторов образуются сложные рудные тела, на определенных горизонтах переходящие в залежи (до 3-4 ярусов).

Метасоматические признаки. Гидротермально-метасоматические изменения в той или иной степени проявлены в породах всех структурно-вещественных комплексов ЛРУ, выделяются: пропилиты, березиты, калишпатиты, гумбеиты, скарны и др. [5, 7, 8, 17, 21]. При этом в качестве основного поискового признака золоторудных зон (тел) выступают такие метасоматические преобразования как анкеритизация и березитизация.

Геохимическими поисковыми признаками являются высококонтрастные аномалии Au, Ag, Pb, Cu, Zn (для золото-сульфидного типа) и Au, Ag, As, Sb, Hg (для золото-пирит-кварцевого типа) в первичных (ПО) и вторичных (ВОР) ореолах рассеяния [1, 3].

Геофизические признаки. Чаще всего золоторудные тела и залежи «лебединского» и других типов в геофизических полях проявлены слабо и неоднозначно, но контролирующие их структуры и/или сопровождающие их ореолы гидротермально-метасоматически измененных пород выделяются отчетливо.

Крупные региональные разломы хорошо проявлены в магнитном поле и поле силы тяжести. Обычно они являются границами однородных по вещественному составу блоков фундамента. Разрывные нарушения и зоны дробления более высоких порядков уверенно картируются линейно-вытянутыми аномалиями пониженных значений ρ_k и отрицательными аномалиями локальной составляющей поля силы тяжести (разломы глубинного заложения). В ряде случаев они отмечаются линейными аномалиями повышенного надфонового калия или одновременно калия и урана (по данным АГС), что указывает на их гидротермально-метасоматическую проработку (рис. 6, 7). Кроме того, зоны дробления часто выделяются отрицательными линейно-вытянутыми аномалиями ΔT_a [1].

Силлы и дайки мезозойского магматического комплекса, контакты которых часто контролируют размещение золоторудных тел, выделяются локальными линейно-вытянутыми положительными аномалиями ΔT_a интенсивностью от 50 до 1000 нТл (магнитные разности) и ρ_k – до 10000 Ом·м (при слабой раздробленности даек или силлов и их мощности более 5 м, включая немагнитные разности). Крупные интрузивные тела мезозойского магматического комплекса, в том числе не выходящие на поверхность, выделяются изометричными отрицательными аномалиями $\Delta g_{лок}$ интенсивностью до - 7 мГал, а также изометричными положительными или отрицательными аномалиями ΔT_a интенсивностью в первые тысячи нТл (в зависимости от минерального состава слагающих их пород (рис. 2–7)).

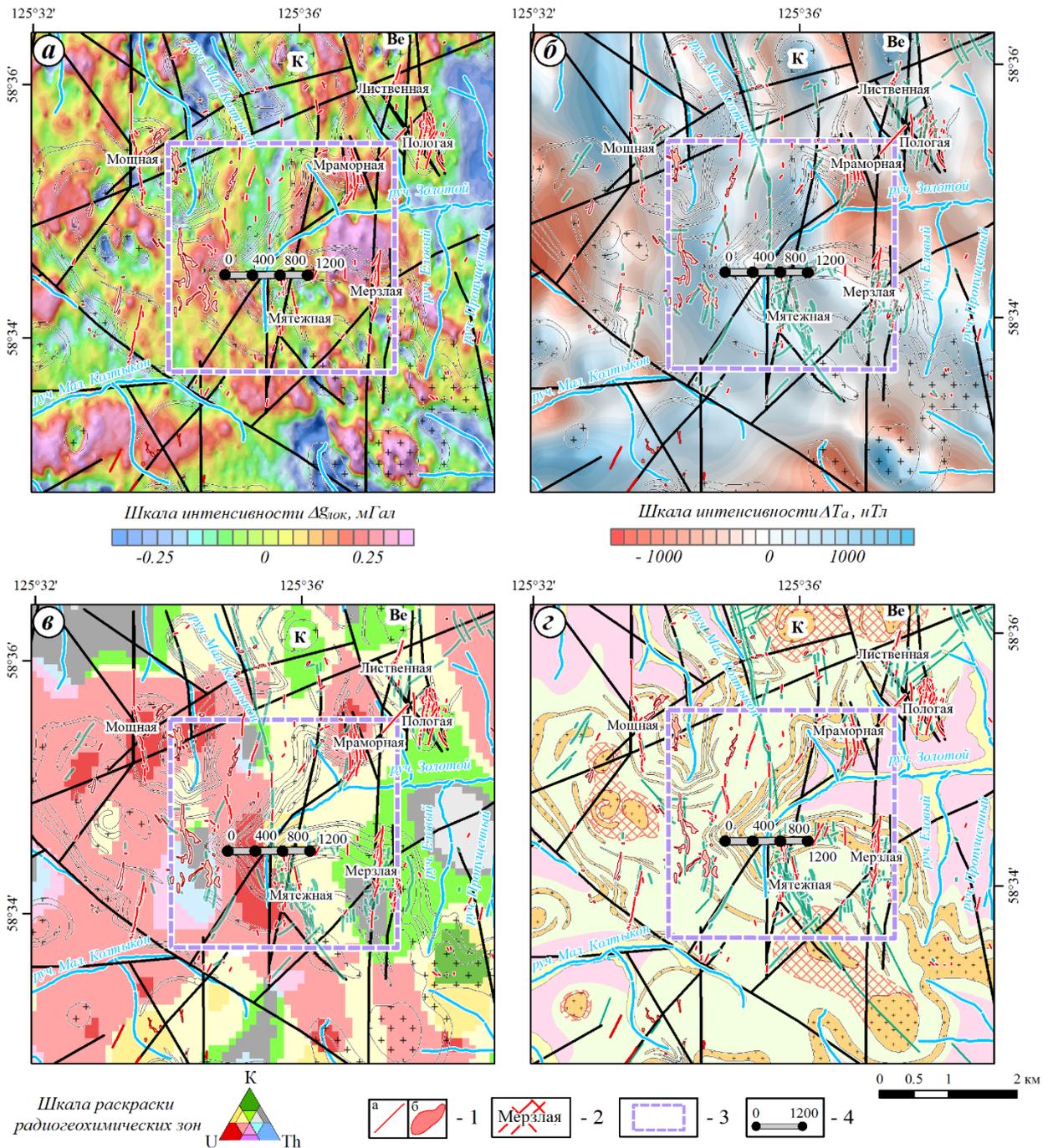
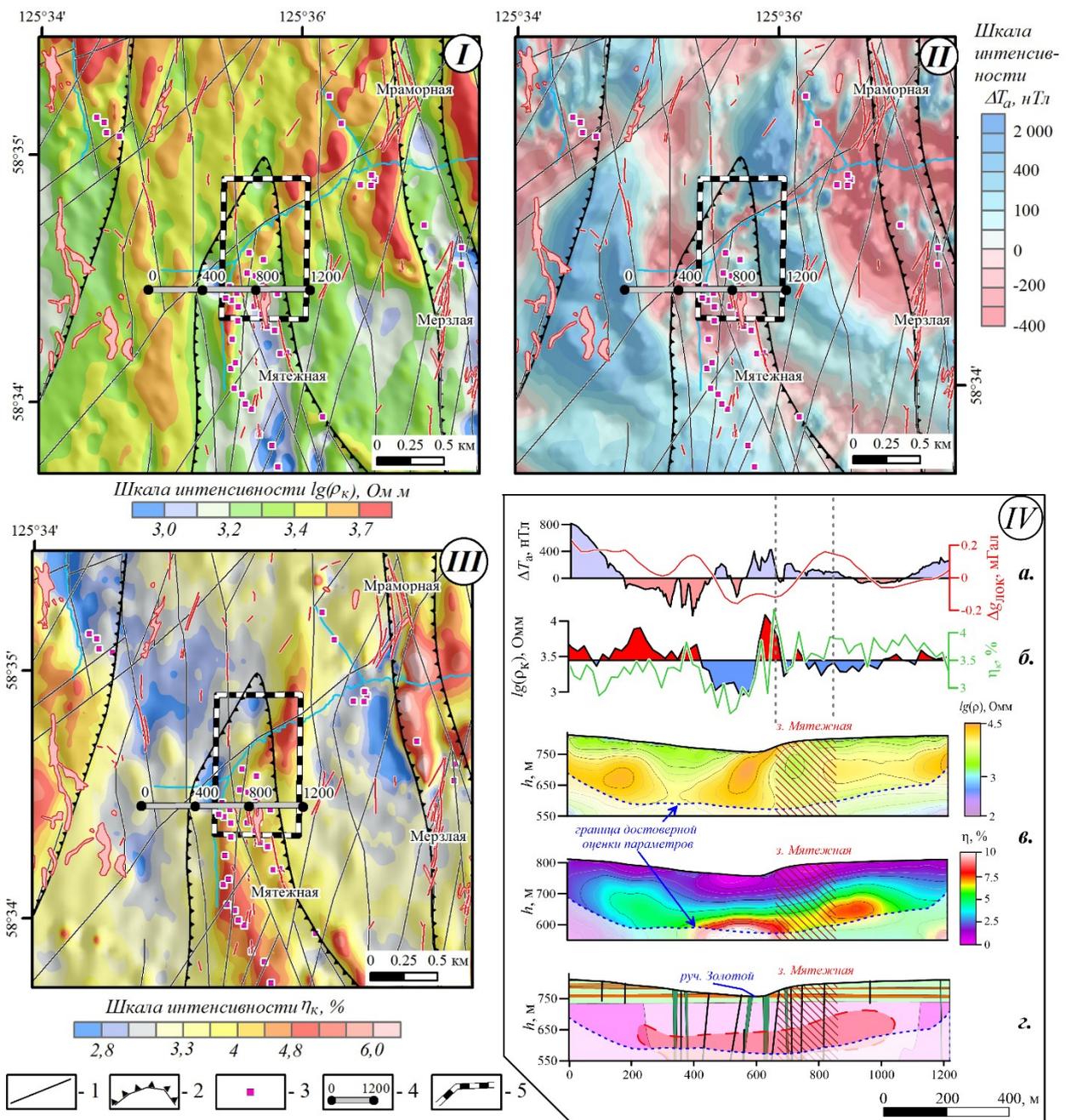


Рис. 6. Отражение основных элементов геологического строения Колтыкон-Самодумовского РП в геофизических полях и их трансформантах.

Карты: а – локальной составляющей поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$), б – аномального магнитного поля (ΔT_a), в – вторичной радиогеохимической зональности (классификация надфоновых содержаний (К', Th', U') выполнена методом «АРК» [16] (пояснение к шкале раскраски см. в подрисуночной подписи к рис. 5); г – схема геологического строения Колтыкон-Самодумовского РП (построена по данным А.В. Минакова (2012 г.)). Условные обозначения: 1 – золоторудные жилы (а) и залежи (б), 2 – названия золоторудных зон, 3 – контур участка Мраморный, 4 – профиль ЭТ (см. рис. 7); Остальные условные обозначения см. на рис. 1.



Наложение гидротермально-метасоматических и гипергенных процессов на породы всех структурно-вещественных комплексов существенно изменяют их петрофизические свойства (при значительной степени изменений) [1]. В частности, появление сульфидов при околорудной березитизации пород приводит к значительному увеличению их поляризуемости. Поэтому ореолы измененных пород обычно выделяются локальными аномалиями η_k интенсивностью от 3.5 до 10 %, но не всегда. В случае выщелачивания сульфидов в зоне гипергенеза локальные аномалии η_k отсутствуют. При этом сульфиды в породах фундамента, как правило, не затронуты процессами окисления, поэтому «зоны объемной сульфидизации пород» в пределах рудоносных структур выделяется площадными аномалиями η_k шириной до 700 м, длиной до 3 км и более. Такие аномалии установлены на Колтыкон-Самодумовском, Малокурунахском, Радостном, Горы Рудной и Орто-Сала-Верхнекурунахском РП (рис. 3–7).

4. Методика прогноза и принципы выделения участков, перспективных на выявление золоторудных объектов

В состав материалов, на основе которых выполнена прогнозная оценка территории ЛРУ на выявление объектов с различным геолого-промышленным типом золотого оруденения (в том числе с новым морфологическим типом), входили:

Структурно-формационная геологическая основа, объединяющая совокупность поисковых признаков золоторудных зон различных рудно-формационных (геолого-промышленных) типов, организованных в виде векторных покрытий («карты»): рудоносные и рудовмещающие формации (стратифицированные и магматические); рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры разной природы и ранга; разрывные нарушения, проявления рудной минерализации, ореолы гидротермально-метасоматически измененных пород;

Геофизическая основа, представляющая собой набор матриц геофизических полей (поля силы тяжести, магнитного поля, содержания радиоактивных элементов (K, U, Th)), составленных на основе обобщенных и увязанных между собой данных разномасштабных съемок, и различных трансформант геофизических полей;

Материалы предшествующих геологоразведочных работ и данные детальных ревизионных поисковых работ, выполненных в пределах месторождений и рудопроявлений золота: детальные карты геологического строения, буровые разрезы, геологическое описание и данные литохимического опробования канав, керна скважин, штуфов и площадей (ВОР); результаты шлихо-минералогических работ, минералого-петрографических исследований и др.

Данные выполненных геофизических и геохимических работ на опорных профилях и участках детализации: профильного литохимического опробования по ПО и ВОР; профильной и площадной магнитной съемки, электропрофилирования и зондирований (электротомография (ЭТ)) методом ВП).

Прогнозная оценка перспективности ЛРУ на выявление объектов с различным геолого-промышленным типом золотого оруденения проведена в три этапа, на каждом из них различными методами выполнен экспертный и/или формализованный анализ имеющихся данных, по результатам которого выделены перспективные и поисковые участки (ПУ).

Этап 1. Комплексный анализ данных профильных геохимических и геофизических работ. Результатом анализа данных геофизических и геохимических работ, выполненных на опорных профилях, являлись геолого-геофизические разрезы (рис. 3, 4), на которые выносилась вся имеющаяся информация, устанавливаемая по данным бурения скважин, а также отраженная на разномасштабных картах геологического строения ЛРУ и РП (подошва осадочного чехла, интрузивные тела и др.). Определенные элементы геологического строения (разрывные нарушения, интрузивные тела, не выходящие на поверхность, ореолы сульфидизации пород и др.) уточнялись по данным математического моделирования магнитного, электрического и гравитационного полей в 2D (программы: *MagGrav2D*, *IPolygon-2.5D*, *ZondRes2.5D*) и 3D (программы: *GRAV3D* и *MAG3D*). По результатам литохимического опробования ПО и ВОР выделялись интервалы профилей, в пределах которых установлены высококонтрастные аномальные содержания *Au* и *Ag* (рис. 3, 4).

Интервал профиля считался перспективным (ПИ), если в его пределах были установлены несколько (три и более) из перечисленных поисковых признаков: «сквозные» разрывные нарушения, проявленные как в фундаменте, так и платформенном чехле; узлы сочленения разрывных нарушений разного направления; силлы и дайки мезозойского магматического комплекса; области пород, подверженные гидротермально-метасоматическим изменениям (зоны «объемной сульфидизации»); аномально высокие содержания *Au*, *Ag* в ПО и ВОР.

Этап 2. Формализованная оценка перспективности ЛРУ на выявление объектов нового геолого-промышленного типа золотого оруденения методом «Гау» (распознавание образа эталонного объекта [2]). В качестве исходных данных использованы геофизические (геофизические поля, их трансформанты) и геологические (структурно-вещественные комплексы пород, мощность осадочного чехла, плотность распределения пунктов минерализации и даек на площади ЛРУ и др.) признаки. При этом для расчета информативного параметра сходства (ИПС) с объектом-эталонном использованы не коррелирующие между собой признаки, наилучшим образом отражающие основные элементы геологического строения ЛРУ. Относительная информативность (выраженная в процентах) признаков для разных объектов-эталонных приведена в таблице 1.

Прогноз проведен для трех объектов-эталонных (рис. 5), в пределах которых расположены промышленно значимые золоторудные объекты, преимущественно нового геолого-промышленного типа: месторождение Гора Рудная (линейный рудный штокверк в лакколите сиенит-порфиоров (рис. 5)), Орто-Салинская золотоносная зона (тела «лебединского» типа, линейный рудный штокверк в лакколите сиенит-порфиоров), золотоносная зона Мятежная (крутопадающие минерализованные зоны дробления, тела «лебединского» типа, минерализованные дайки и силлы (рис. 6, 7)).

Перспективные на выявление золоторудных объектов участки выделены по формальному признаку — области повышенных значений ИПС за пределами объектов-эталонных.

Этап 3. Экспертный анализ материалов поисковых и геологоразведочных работ, выполненных в пределах месторождений и рудопроявлений золота.

Оценка золотоносности проведена в пределах наиболее перспективных участков ЛРУ с ранее апробированными прогнозными ресурсами категории P_2 . В ее основе лежат материалы поисковых и геологоразведочных работ ГУГПП РС (Я) «Якутскгеология» (2008–2012 гг.) и ФГУП «ЦНИГРИ» (2013–2015 гг.).

Основной критерий выделения ПУ — возможность выявления промышленных золоторудных зон в его пределах.

Таблица 1. Информативность геологических и геофизических признаков, использованных при формализованной оценке ЛРУ методом «ТАУ», для различных объектов-эталонов.

Наименование признака	Информативность признаков для разных объектов-эталонов, %		
	м. Гора Рудная	Орто-Салинская золотоносная зона	Мятежная золотоносная зона
<i>Геофизические признаки</i>			
Поле силы тяжести и его трансформанты	17,5	24,5	34,3
Аномальное магнитное поле и его трансформанты	16,4	32,5	25,5
Содержания К, U, Th, их трансформанты	18,8	5,6	9,2
Классификации потенциальных геофизических полей	12,5	7,6	9,2
Суммарный вклад	65,2	70,2	78,2
<i>Геологические признаки</i>			
Структурно-вещественные комплексы пород	10,8	1,1	3,2
Плотность распределения даек на площади ЛРУ	6,0	14,1	9,5
Плотность распределения пунктов минерализации на площади ЛРУ	13,2	13,4	8,0
Мощность осадочного чехла	4,8	1,2	1,1
Суммарный вклад	34,8	29,8	21,8

5. Результаты

5.1. Геохимические и геофизические работы на опорных профилях

По результатам работ на опорных профилях (этап-1): уточнено структурно-тектоническое и глубинное строение ЛРУ, а также расположенных в его пределах РП (рис. 3–4); проведена апробация и оценка эффективности предложенного рационального опережающего комплекса методов поиска золотоносных зон различного геолого-промышленного типа; определены поисковые геофизические критерии (раздел 1.2); выделено 30 ПИ, к 12 из которых приурочены золоторудные тела. Среди выделенных ПИ наибольший поисковый интерес имеют 13 интервалов, выделенных красным цветом на рисунках 8–9, в пределах которых по геологическим, геохимическим и геофизическим данным установлены все выше представленные поисковые признаки.

Совместный анализ полученных результатов с имеющимися геологическими и геофизическими материалами показал, что наиболее перспективной для выявления промышленной золоторудной минерализации является северная часть ЛРУ. В частности, Орто-Сала-Верхнекурунахское, Радостное и Колтыкон-Самодумовское РП, среди которых последнее обладает наибольшим потенциалом (содержит 43 % от общего количества ПИ).

На основании этого, в его центральной части был выделен участок детализации Мраморный, на котором выполнены комплексные поисковые работы масштаба 1:10 000

(площадные и профильные геофизические работы (электроразведка методом ВП и магнитная съемка), горно-буровые работы и др. (рис. 1, 6, 7)).

5.2. Детальные работы на участке Мраморный

Анализ полученных данных и геолого-геофизических материалов предшествующих исследователей в пределах участка Мраморный показал, что геофизическими методами решаются преимущественно структурно-картировочные задачи: выделяются и картируются разрывные нарушения, интрузивные тела мезозойского магматического комплекса и области гидротермально-измененных пород.

Сопоставление выделенных по геофизическим данным силлов и даек с геологическими материалами на участке Мраморный позволило установить следующие особенности: наиболее крупные протяженные дайки (индикаторы сквозных разрывных нарушений и зон дробления) контролируются разломами глубинного заложения СЗ и СВ ориентировки; золоторудные зоны Мраморная, Мерзлая и Мятажная располагаются на участках с повышенной концентрацией даек, а их наиболее продуктивные интервалы — в узлах сочленения даек СЗ и СВ направлений (рис. 6, 7).

На карте вторичной радиогеохимической зональности, построенной методом «АРК» [16], золоторудные зоны Мраморная, Мятажная, Мощная выделяются изометричными областями с доминирующей урановой природой радиоактивности, а зоны Пологая и Мерзлая — калия. Следует отметить, что выделенные по данным АГС аномальные области располагаются на оси двух глубинных разломов СВ ориентировки (ветви Томмотой системы разломов), в местах их сочленения или пересечения разломами СЗ ориентировки (рис. 6).

По данным АГС в СЗ части Колтыкон-Самодумовского РП определенный поисковый интерес представляют две изометричные аномальные области с доминирующей урановой природой радиоактивности, расположенные симметрично по обе стороны относительно золоторудной зоны Мощная.

По данным электропрофилирования методом ВП в западной, центральной и восточной частях участка Мраморный выделены три крупные (шириной от 0.6 до 1 км), протяженные (до 1.5 км) аномалии повышенной η_k , пространственно приуроченные к зонам дробления, насыщенным дайками. По совокупности геолого-геофизических признаков в качестве наиболее перспективных выделены Восточная и Центральная зоны дробления.

Восточная зона дробления — основная рудоконтролирующая структура золоторудных зон Мерзлая и Мраморная — протягивается от ЮВ до северного края участка Мраморный в СЗ направлении на расстояние более 3 км. По данным электропрофилирования методом ВП и детальной гравиметровой съемки она объединяет ряд крупных разрывных нарушений, часть из которых имеет глубокое заложение (рис. 6, 7).

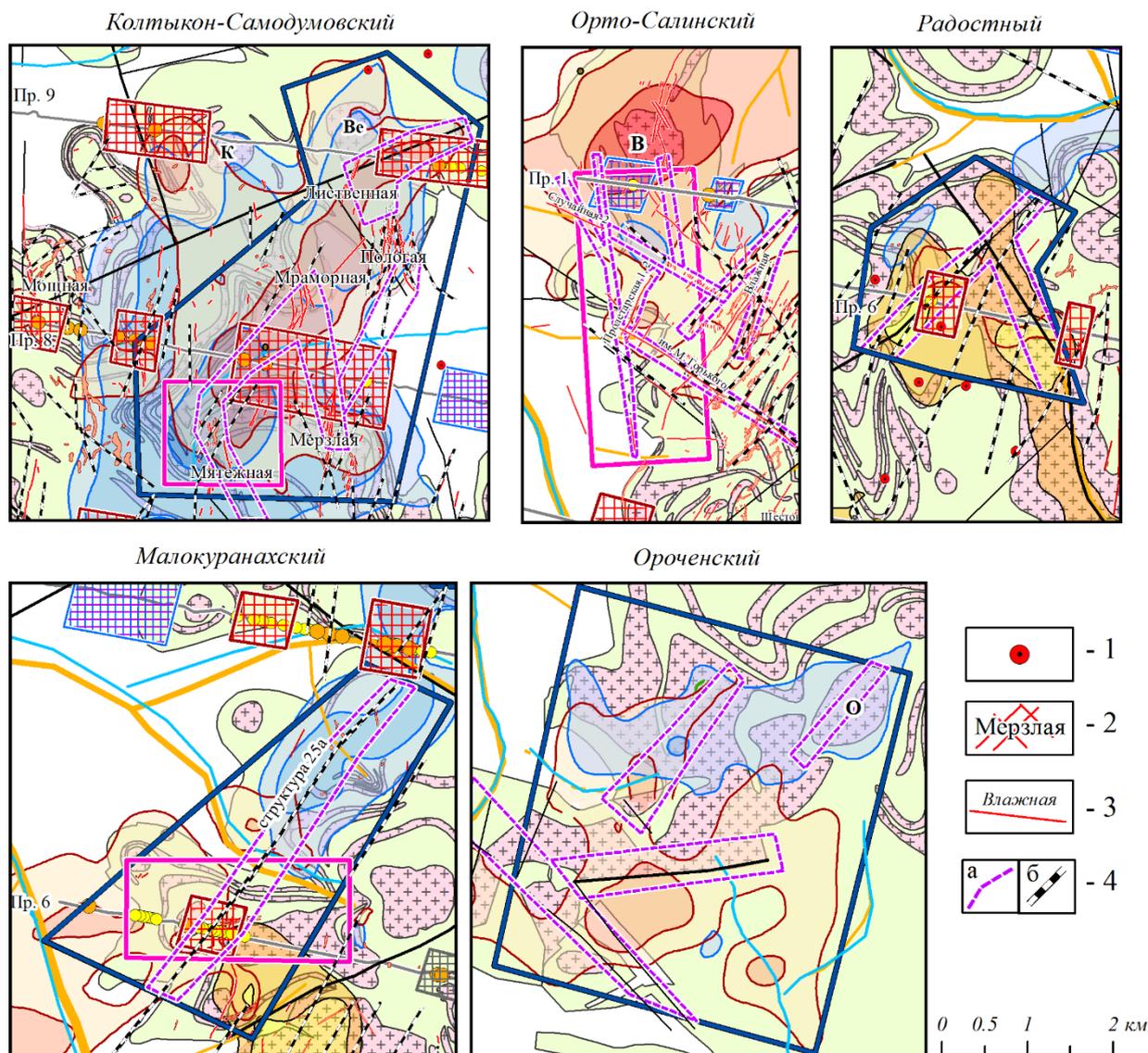


Рис. 9. Схемы прогноза золотоносности поисковых и перспективных участков.

1 – рудопроявления золота; 2 – названия золоторудных зон; 3 – жилы, требующие детального опознания; 4 – потенциально перспективные на выявление золотого оруденения структуры, выделенные по результатам: (а) выполненного прогноза, (б) предшествующих геологоразведочных и прогнозных работ (А.В. Минакова (2012 г.)). Остальные условные обозначения см. на рис. 8.

В пределах Восточной зоны дробления повышенными значениями η_k выделяется блок «мраморов» в составе архейского фундамента, претерпевший контактово-метасоматические изменения — скарнирование пород. Кроме этого, можно предполагать наличие зоны гидротермально-метасоматически измененных пород с обильной сульфидной минерализацией (березиты наложенные на пропилиты), что подтверждается результатами бурения в пределах золоторудной зоны Мраморная.

Центральная зона дробления — основная рудоконтролирующая структура золоторудной зоны Мятажная — объединяет серию разрывных нарушений глубинного заложения и оперяющих их трещин меридионального и СЗ направления. Зона протягивается от южного края участка Мраморный до правого борта ручья Золотой в

меридиональном направлении (рис. 7). В ее пределах выделяется протяженная (длинной 1.4 км) площадная аномалия повышенной η_k ($> 3.5\%$) СЗ простирания, к которой по данным литохимического опробования приурочена полоса штуфных проб СЗ простирания с повышенными содержаниями Au (рис. 7-III). В долине ручья Золотой аномалия повышенной η_k «упирается» в разрывное нарушение СВ ориентировки и меняет свое направление, выходя за пределы Центральной зоны дробления (рис. 7-III). В этом направлении она прослеживается по простиранию еще на 1.1 км. Аномалия повышенной η_k отвечает участку зоны дробления, в пределах которого интенсивно проявлены гидротермально-метасоматические изменения пород, в частности, их сульфидизация (рис. 7-I, III).

По совокупности геолого-геофизических признаков в пределах Центральной зоны дробления выделен участок, перспективный на выявление золоторудных тел различного геолого-промышленного типа. В структурном плане он приурочен к узлу сочленения разрывных нарушений СЗ и СВ ориентировки (долина ручья Золотой). В его пределах выполнена ЭТ методом ВП по серии профилей широтной ориентировки, а также горно-буровые работы. Результаты ЭТ по одному из профилей, пересекающих золоторудную зону Мятажная в широтном направлении, представлены в виде разрезов распределения ρ , η и схематического геолого-геофизического разреза на рисунке 7-IV.

На разрезах распределения ρ и η хорошо проявлено двухъярусное строение участка (рис. 7-IV). Верхний ярус — доломиты усть-юдомской свиты, прорванные силлами мезозойского интрузивного комплекса, характеризуется низкими значениями η ($< 2\%$) и пониженными ρ (800–2000 Ом·м) относительно нижнего яруса — архейского фундамента, для которого $\rho \approx 10000$ Ом·м, $\eta \approx 3.5\%$. Центральная зона дробления по данным ЭТ представлена крутопадающими разрывными нарушениями, проявленными как в фундаменте, так и в платформенном чехле. На разрезе распределения ρ разломы и оперяющие их трещины выделяются субвертикальными областями пониженных значений ρ до 100–500 Ом·м.

Область гидротермально-метасоматически измененных пород, содержащих сульфидную минерализацию, на разрезе распределения η выделяются аномалиями интенсивностью более 5%. При этом поляризующиеся тела располагаются в породах фундамента, что объясняется наличием мощной коры выветривания в верхней части разреза, в пределах которой сульфиды частично или полностью окислены. В целом, результаты ЭТ подтвердили наличие минерализованной зоны дробления и ее протяженность на глубину. По результатам детальных горно-буровых работ, выполненных ГУГПП (Я) «Якутскгеология» в пределах участка Мраморный, промышленные содержания золота установлены в силле ортофинов, субвертикальных зонах дробления и дайке сиенит-порфинов.

5.3. Формализованная оценка перспективности ЛРУ на выявление объектов нового геолого-промышленного типа золотого оруденения

Объект-эталон Гора Рудная. По результатам прогноза установлено, что область наибольшего сходства с эталоном отвечает выходу на поверхность лакколита сиенит-порфинов горы Рудной. Она вытягивается вдоль рудоконтролирующей структуры Крутая-

Коллективная в СВ направлении, захватывая южную часть Малокуранахского РП (рис. 8). Области повышенных значений ИПС (более 0.5) выделились участки в пределах мощного силла сиенит-порфиров, расположенного в центральной части Радостного РП, лакколита сиенит-порфиров гольца Лебединый и полифазных интрузивных тел в СЗ части ЛРУ (Верхнеякокутский массив, интрузии гольцов Мрачный и Заметный–Дефективный (рис. 8)).

Объект-эталон – золотоносная Орто-Салинская зона (Вузовская структура). Высокий вклад геофизических признаков для этого эталонного объекта обуславливает вытянутую в СВ направлении (от левобережья реки Орто-Сала до верховьев ручья Малый Куранах (рис. 2, 8)) вдоль северной ветви Томмотского разлома область наиболее высоких значений ИПС.

На приведенной схеме видно, что кроме самого объекта-эталона повышенными значениями ИПС выделяется центральная часть Колтыкон-Самодумовского РП, включая золотоносные зоны: Мятажная, Мраморная, Мерзлая, Лиственная, Пологая и Мощная (рис. 8, 9). При этом область с высокими значениями ИПС (0,5–0,7) вытягивается в СВ направлении, объединяя жильные зоны Мраморная и Мятажная. Обширные площади повышенных значений ИПС также выделяются на водоразделе рек Томмот и Селигдар в окрестности интрузии гольца Орочен (ЮЗ граница ЛРУ). Локальные области повышенных значений ИПС установлены в пределах центральной части Радостного РП, СЗ части Верхнеякокутского массива и в окрестностях интрузии гольца Мрачный.

Объект-эталон – золотоносная зона Мятажная. Повышенными значениями ИПС, кроме самой зоны Мятажная, выделилась центральная часть Колтыкон-Самодумовского РП (рис. 8). Область вытягивается в СВ направлении, охватывая лакколит Верблюд и западную часть лакколита Золотой (северный фланг РП). При этом отдельной изометричной областью выделились золотоносные зоны Пологая и Лиственная на левом борту ручья Золотой. Обширные участки высоких значений ИПС также выделяются в центральной части Малокуранахского РП и в окрестностях интрузии гольца Орочен. Небольшие изометричные области повышенного ИПС установлены на контакте осадочного чехла с фундаментом в пределах северной части Радостного РП и вблизи гольца Вуз (западный фланг Орто-Сала-Верхнекуранахского РП).

Обобщая результаты формализованной оценки территории ЛРУ методом «ТАУ» выделены следующие ПУ: Колтыкон-Самодумовский, Малокуранахский, Радостный, Верхнекуранахский и Ороченский, среди которых первый обладает наибольшим потенциалом (рис. 8, 9).

5.4. Экспертный анализа материалов поисковых и геологоразведочных работ, выполненных в пределах месторождений и рудопроявлений золота

По результатам экспертного анализа материалов по геологическому строению и металлогении ЛРУ, результатам предшествующих региональных, средне- и крупномасштабных геолого-съёмочных, поисковых, тематических, геофизических, геохимических и ревизионных поисковых работ 2013–2015 годов выделены участки и

площадь (ранга РП), перспективные на выявление золоторудных объектов различного геолого-промышленного типа (рис. 1, 8).

В отличие от предыдущих этапов в качестве наиболее перспективной для постановки дальнейших поисковых работ выделена южная часть ЛРУ (Верхнеякутское, Таежное и потенциальное Юрское РП (рис. 1, 8)), в пределах которой прогнозируется обнаружение золоторудных объектов различного геолого-промышленного типа. Однако к наиболее перспективной для наращивания ресурсов (запасов) коренного золота отнесена центральная и северная часть ЛРУ — Орто-Сала-Верхнекуранахское и Колтыкон-Самодумовское РП.

Выделены следующие поисковые участки (перечислены от наиболее к наименее перспективному): Гора Рудная, Орто-Салинский, Гора Зверева, Малокуранахский, Колтыкон-Самодумовский (Мятежный), Верхнеякутский и Таежный (расположены в одноименных РП (рис. 8)).

Обсуждение

Рудные поля в пределах ЛРУ существенно различаются по геологическому строению, что обуславливает разную эффективность выбранного поискового комплекса геофизических и геохимических методов. По результатам профильных геолого-геофизических работ на опорных профилях и детализационных участках показано, что используемый комплекс геофизических методов (магниторазведка и электроразведка методом ВП) позволяет решать, прежде всего, структурно-картировочные задачи. Последнее, учитывая ведущую роль структурных факторов, позволяет существенно повысить эффективность прогнозно-поисковых работ. В большинстве случаев рудоносные структуры отчетливо отражаются в геофизических полях и/или выделяются по данным литохимического опробования (рис. 3, 4, 7, 8).

Совместный анализ данных электропрофилирования методом ВП и литохимического опробования показал, что контрастные аномалии повышенных содержаний халькофильных элементов (Pb, Zn, Ag) и золота в ПО и ВОР примерно в 70% случаев сопровождаются аномалиями повышенных значений η_k (рис. 3, 4). Однако установлены случаи, когда золоторудные зоны выделяются только в геофизических полях (часть рудных тел месторождения Гора Рудная, Радостного и Орто-Саоло-Верхнекуранахского РП (рис. 3, 5, 8)) или только по данным литохимического опробования (Юрское, Верхнеякутское РП). Таким образом, по результатам профильных работ показано, что комплексирование электроразведки методом ВП с литохимическим опробованием ВОР и ПО имеет высокую поисковую эффективность.

По результатам формализованного прогноза области, выделяющиеся повышенными значениями ИПС, расположены в центральной и северной частях ЛРУ (рис. 8), что обусловлено выбором объектов-эталонов (акцент сделан на новый геолого-промышленный тип золотого оруденения). Очевидно, что в пределах поля развития терригенных юрских отложений вероятность выделения объектов, подобных месторождению Гора Рудная, золоторудных зон Мятежной или Орто-Салинской — низкая. Большинство золоторудных тел месторождения Лебединое находится за пределами областей повышенных значений ИПС по той же причине.

Анализ составленной прогнозной схемы на выявление объектов с новым геолого-промышленным типом золотого оруденения для ЛРУ показывает, что области повышенного ИПС охватывают внутренние и контактовые части крупных мезозойских интрузивов, мощных силлов, приурочены к узлам сочленения разломов разных направлений, а также участков, в пределах которых доломитовая толща насыщена многочисленными маломощными силлами (рис. 1, 8). В общем, выделились области, геологическое строение которых близко к объектам-эталонам. При этом подавляющее количество перспективных областей расположено на участках, в пределах которых установлены рудопроявления и промышленные золоторудные тела, в том числе отработанных месторождений (рис. 8, 9). Кроме того, 8 из 13 ПИ опорных профилей (этап-1), отнесенных к первоочередным для приостановки заверочных работ, и все выделенные поисковые участки (этап-3) располагаются в пределах областей повышенного ИПС. Это указывает на достаточно высокую достоверность выполненного формализованного прогноза (этап-2).

Проводя экспертный анализ прогнозных оценок, выполненных разными методами, установлено, что наиболее перспективным по наращиванию ресурсов коренного золота следует считать Колтыкон-Самодумовское и Орто-Сала-Верхнекуронахское РП, учитывая то, что месторождение Гора Рудная и одноименное РП исключено из рассмотрения (перспективность очевидна — ведется разведка, оценка и подсчет запасов месторождения).

Колтыкон-Самодумовское РП. К настоящему времени наибольшим потенциалом для наращивания ресурсов (запасов) рудного золота в пределах Колтыкон-Самодумовского РП обладает золотоносная зона Мятёжная, представляющая собой сочетание сближенных минерализованных зон дробления и повышенной трещиноватости в доломитах, а также золотоносных силлов и даек сиенит-порфиров мезозойского интрузивного комплекса (рис. 6–9). Потенциал зоны Мятёжная по результатам выполненных работ оценить не удалось ввиду ограниченного объема горно-буровых работ. Однако по данным площадных геофизических работ, выполненных в пределах центральной части Колтыкон-Самодумовского РП, сделан прогноз о продолжении структуры, вмещающей золотоносную зону Мятёжная, в СВ направлении с «изгибом» в сторону золоторудной зоны Мраморная и их возможным соединением. Последнее также подтверждается данными формализованного прогноза (рис. 7, 9).

Аналогичная ситуация наблюдается и с золоторудной зоной Мерзлая, на возможное продолжение которой в северном направлении (с правого на левый борт долины р. Золотой) и «соединении» с золоторудной зоной Мраморная указывают результаты площадных геофизических работ (рис. 6, 7). Кроме того, вероятно соединение золоторудных зон Мерзлая и Пологая, что подтверждается результатами шлихоминералогических исследований делювиальных отложений правого борта ручья Золотой. По данным формализованной прогнозной оценки и результатам профильных геолого-геофизических работ также прогнозируется продолжение золоторудных зон Пологая и Лиственная в СВ направлении вдоль ветви Томмотского разлома (рис. 8, 9).

Приведенные данные показывают, что в пределах Колтыкон-Самодумовского РП промышленные золотоносные зоны располагаются в узлах пересечения систем разрывных нарушений СЗ и СВ ориентировки. При этом мощные зоны дробления слабо изучены по простиранию.

Таким образом, несмотря на высокую геологическую изученность Колтыкон-Самодумовского РП, целесообразно продолжить поисковые работы в его пределах.

Орто-Салинский ПУ (западный фланг Орто-Сала-Верхнекурахского РП) включает новые (Случайная-I, Случайная-II) и потенциально перспективные золоторудные зоны (Влажная, Пролетарская, им. М. Горького и др.), требующие более детального опоскования (рис. 8, 9). В его пределах проведен большой объем поисково-разведочных горных и буровых работ, однако недостаточный для оценки ресурсов части потенциально рудоносных структур, протяженность которых в ряде случаев превышает 2 км.

По результатам формализованного прогноза, а также данным профильных геофизических и геохимических работ наибольшей перспективностью обладает северная часть Орто-Салинского ПУ (водораздел ручьев Владимирский и Случайный). В частности, прогнозируется продолжение жилы Случайная-1 в северном направлении. В общем Орто-Салинское РП обладает значительными ресурсами и требует продолжения поисковых работ в его пределах.

Малокурахский ПУ приурочен к минерализованной зоне дробления СВ простирания (структура 25а (по А.В. Минакову)), фрагментарно прослеженной от лакколита Горы Рудной до правобережья ручья Кыылаах, вдоль которой вытягивается область повышенных значений ИПС (рис. 8, 9). По результатам горно-буровых работ 2013-2014 годов, выполненных в пределах южной части Малокурахского РП, на отдельных отрезках выделенной зоны дробления установлена промышленная золоторудная минерализация. В целом, потенциал Малокурахского ПУ также подтверждается результатами формализованного прогноза и данными профильных геолого-геофизических работ (этап 1–2).

Радостный ПУ выделен по данным формализованного прогноза, а также профильных геофизических и геохимических работ. В его пределах высока вероятность выявления зоны с золотым оруденением подобным развитому на месторождении Гора Рудная. Потенциальная рудоносность участка подтверждается также несколькими рудопроявлениями, расположенными в его пределах (рис. 8, 9). Однако по результатам детальных поисковых работ, выполненных ГУГПИ РС (Я) «Якутскгеология» в пределах Радостного РП в 2008–2012 годах, была дана низкая оценка его перспективности. По этой причине, возможно, следует отнести этот ПУ ко второй очереди.

Ороченский ПУ выделен по результатам формализованного прогноза в южной части ЛРУ. В его пределах установлены обширные области повышенных значений ИПС для различных объектов-эталонов (золотоносных зон Орто-Салинская и Мятежная). По геологическим данным в пределах ПУ Ороченский отмечается благоприятная геологическая обстановка. Маломощные отложения усть-юдомской свиты прорваны лакколитами сиенит-порфиров и многочисленными силлами, в том числе большой мощности. В структурном плане ПУ Ороченский расположен в узле пересечения систем разрывных нарушений глубинного заложения СЗ, СВ и субширотной ориентировки (сочленение Юхтинской и Томмотской зон глубинных разломов (рис. 8, 9)). В его южной части установлены площадные аномалии золота во ВОР, а ручьи, берущие начало на водоразделе, расположенном в его центральной части, несут промышленные россыпи золота. Таким образом, ПУ Орочен обладает определенным потенциалом по наращиванию

ресурсов коренного золота, однако он отнесен ко второй очереди ввиду низкой геологической изученности.

Верхнеякоутское, Таежное и перспективное Юрское РП. В южной части ЛРУ, прорывая терригенно-карбонатную толщу осадочного чехла, на поверхность выходят крупные щелочные многофазные массивы — Верхнеякоутский и гольцов Дефективный-Заметный, в пределах которых имеются определенные предпосылки для выявления золотого оруденения подобного развитому на месторождении Гора Рудная (рис. 1). Эти массивы и их обрамление не опоискованы должным образом и, несомненно, являются перспективными, что подтверждается как геологическими данными (установлены золоторудные тела с промышленными содержаниями золота), так и результатами формализованного прогноза (рис. 8, 9).

Кроме того, в южной части ЛРУ интерес представляют минерализованные зоны дробления в юрских песчаниках, «выполненные» лимонит-кварц-карбонатными или пирит-кварц-полевошпатовыми метасоматитами, развитыми по тектоническим брекчиям. Подобные зоны с промышленным содержанием золота (до 7 г/т) прослеживаются с перерывами на расстояние до 2,5 км при средней мощности от 2 до 16 м.

В пределах Юрского РП также могут быть обнаружены золоторудные объекты «куранахского» типа, широко проявленного в 40 км севернее ЛРУ в Куранахской грабен-впадине. На это указывают результаты бурения на восточном фланге РП Таежное, где на контакте нижнекембрийских и юрских пород установлена карстовая полость, заполненная корой выветривания (однако содержания золота оказались не высокими 0,1–0,3 г/т).

Таким образом, южная часть ЛРУ, имеющая наиболее низкую геологическую изученность, обладает определенными перспективами для выявления золоторудных месторождений, прежде всего нового геолого-промышленного типа.

Заключение

На основе выполненной прогнозной оценки перспективности ЛРУ на выявление объектов с различным геолого-промышленным типом золотого оруденения показана необходимость переоценки флангов и изучения на глубину ряда отработанных золоторудных объектов, а также потенциально перспективных золотоносных зон.

При этом установлено, что наибольшим потенциалом по наращиванию запасов коренного золота обладают, прежде всего, Колтыкон-Самодумовское и Орто-Сала-Верхнекуронахское РП, золотоносность которых остается недооцененной. Заверка горно-буровыми работами части перспективных зон, расположенных в пределах этих РП, подтвердила их промышленную золотоносность.

Кроме того, в качестве перспективной на выявление золоторудных месторождений различного геолого-промышленного типа выделена южная часть площади ЛРУ, включающая Верхнеякокутское, Таежное и потенциальное Юрское РП, опосредованность которых недостаточная. По результатам ревизионных и поисково-разведочных работ, выполненных в их пределах, подтверждена промышленная золотоносность ряда зон на нескольких ПУ.

Приведенные данные свидетельствуют о целесообразности продолжения поисков месторождений коренного золота в пределах ЛРУ, ориентируясь, в первую очередь, на выявление золоторудных объектов с новым геолого-промышленным (морфологическим) типом оруденения.

В рациональный комплекс методов поиска золоторудных объектов различного геолого-промышленного типа на территории ЛРУ рекомендуется включать: геофизические методы (электроразведку методом ВП, магниторазведку и детальную гравиразведку), литохимическое опробование ПО и ВОР, шлихоминералогическое опробование делювиально-элювиальных отложений бортов долин водотоков, геологические и поисковые маршруты, горно-буровые работы на перспективных участках.

Список литературы

1. *Абрамов В.А.* Глубинное строение Центрально-Алданского района. Владивосток: «Дальнаука». 1995. 180 с.
2. *Боровко Н.Н.* Алгоритм «Гау» для распознавания при малом объеме эталонной выборки // Методы разведочной геофизики. 1972. Вып. 15. С. 35–42.
3. *Балахонов В.С.* Строение и пространственные соотношения минерального-геохимических полей Колтыконского золотоджаспероидного рудного поля (Центральный Алдан): Дис. к.г.-м.н. Екатеринбург: УГГА, 1999.
4. *Билибин Ю.А.* Некоторые интересные черты металлогении Алдана // Доклады АН СССР. 1946. Т. 51. №6. С. 457–460.
5. *Бойцов В.Е., Верчеба А.А., Пилипенко Г.Н. и др.* Металлогеническое районирование Центрально-Алданского рудного района республики Саха (Якутия) // Известия высших учебных заведений: Геология и Разведка. 2010. №5. С. 23–32.
6. *Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я. и др.* Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 6. С. 467–499.
7. *Дворник Г.П.* Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района // Литосфера. 2012. № 2. С. 90–105.
8. *Казанский В.И., Омеляненко Б.И.* О мезозойских гидротермальных изменениях архейских пород в Центральном Алдане // Геология Рудных месторождений. 1967. №1. С. 57–65.
9. *Казанский В.И.* Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. М.: «Недра», 1972. 240 с.
10. *Казанский В.И.* Уникальный Центрально-Алданский золоторудный район (Россия) // Геология Рудных месторождений. 2004. Т. 46. №3. С. 195–211.
11. *Казаринов А.И.* Закономерности размещения главных типов золотого оруденения в Алданском районе и принципы их перспективной оценки / Тр. ЦНИГРИ. Геология и методы изучения золоторудных провинций. М.: «Недра». 1967. Вып. 68. С. 5–30.
12. *Казаринов А.И.* Структуры золоторудных полей Алданской провинции / Тр. ЦНИГРИ. М.: «Недра». 1972. Вып. 101. С. 86–97.
13. *Кочетков А.Я.* Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 7. С. 850–864.
14. *Кочетков А.Я.* Рудоносность щелочных массивов Алданского щита. Рябиновское медно-золото-порфировое месторождение // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 1. С. 62–73.
15. *Краснов А.И., Высокоостровская Е.Б., Зубов Е.И.* Аэrorадиогеохимическое картирование. Методические рекомендации. Л.: НПО «Рудгеофизика». 1983, 104 с.
16. *Леонтьев В.И.* Геолого-генетические закономерности локализации золотого оруденения на месторождении Подгольчатое (Алданский щит): Дис. к.г.-м.н. Санкт-Петербург: Горный университет, 2016.
17. *Молчанов А. В., Терехов А. В., Шатов В. В., и др.* Лебединский золоторудный узел (особенности геологического строения, метасоматиты и оруденение) // Региональная геология и металлогения. 2013. В. 55. С. 99–110.
18. *Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000 (серия Алданская, Лист О-51-ХVIII).* Сост. К. А. Воробьев, Г. А. Шумбасова. СПб. 2001. 245 с.
19. *Сафонов Ю.Г.* Роль блоковой тектоники в формировании золоторудного поля Лебединое (Центральный Алдан) // Геология рудных месторождений. 1971. № 5. С. 76–86.
20. *Силин И.И., Угрюмов А.Н.* Закономерности размещения мезозойских магматических пород и золоторудных месторождений в Центрально-Алданском районе Южной Якутии // Рудообразование и его связь с магматизмом. М.: «Недра». 1972. С. 275–282.
21. *Фасталович А.И., Петровская Н.В.* Характер оруденения Лебединого золоторудного месторождения (Алдан) // Советская геология. 1940. № 2-3. С. 54–65.