

Возможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений

Б.А. Калмыков, Ф.Д. Лёвин, А.А. Трусов — АО «ГНПП «Аэрогеофизика», Москва

Современные аэрогеофизические технологии являются эффективным средством оптимизации геологоразведочного производства за счет сокращения времени на опоскование территории и более точного позиционирования дорогостоящих горно-буровых работ. В последние годы наблюдается заметный рост объемов выполняемых аэрогеофизических съемок при поисках золоторудных месторождений, что обусловлено заметным повышением их информативности и поисковой отдачи. В настоящей статье обобщен опыт использования современных аэрогеофизических технологий, накопленный

нами при выполнении работ на золотоперспективных территориях в различных геолого-географических условиях.

Опыт работ

Только за последние 10 лет нашим предприятием были выполнены комплексные аэрогеофизические съемки как по заказам недропользователей, так и за счет средств федерального бюджета на Северном и Полярном Урале, в Забайкалье, на Чукотке и Дальнем Востоке (рис. 1).

Одним из важных преимуществ аэрогеофизических технологий является

целесообразность и эффективность комплексирования методов: включение в состав комплекса дополнительного информационного канала удорожает работы максимум на 10–15 %, при этом существенно повышая информативность комплекса. Соответственно, дополнение традиционно использовавшихся для поисков золотого оруденения аэромагнитометрии и аэрогаммаспектрометрии электроразведочным каналом в середине прошлого десятилетия позволило существенно повысить эффективность и поисковую отдачу аэрогеофизического комплекса [Калмыков, 2015].



Рис. 1. Объекты комплексной аэрогеофизической съемки, направленные на поиски золоторудных залежей (Региональные работы показаны только в пределах Чукотского АО)

Методы аэроэлектроразведки с контролируемым источником относятся к индуктивным методам электроразведки, в которых возбуждение и прием поля производится с помощью незаземленных контуров. Возбуждающее поле в генераторной метле может изменяться во времени либо по гармоническому закону (представляя собой сумму синусоид с фиксированными частотами), либо представляя собой чередование импульсов определенной формы. В первом случае говорят о низкочастотных методах электроразведки, во втором — методе переходных процессов (МПП).

Использование низкочастотных модификаций аэроэлектроразведки обходится значительно дешевле и мало чем уступает в информативности в большинстве случаев. Методы МПП эффективно использовать при поисках оруденения золото-сульфидно-кварцевой формации, поскольку данная модификация нацелена на локализацию хорошо проводящих объектов.

Аэромагниторазведка выполняется с помощью высокочувствительного квантового аэромагнитометра, который характеризуется высокой пороговой чувствительностью (0,001 нТл) и быстрым действием (до 100 изм/сек).

При аэрогамма-спектрометрии используется современный 1024 канальный спектрометр с полициновыми детекторами NaJ (TI), общей емкостью не менее 32 л. Спектрометр обладает автоматической системой стабилизации энергетической шкалы по фотопикам естественных радионуклидов и энергетическим разрешением по линии 0,662 МэВ не более 8 %. Специальная обработка (по площадям фотопиков) измеренных спектров позволяет получить существенно снизить статистические погрешности итоговых карт распределения концентраций естественных радиоактивных элементов. Энергетический спектр регистрируется с частотой 1 Гц.

Низкочастотная индуктивная аэроэлектроразведочная система регистрирует элементы электромагнитного поля, определяющие величину электропроводности пород, одновременно на частотах 130, 520, 2080, 8360 Гц методом дипольного индуктивного профилирования (ДИП). Более чем шестидесятикратная разница между высокой и низкой частотами обеспечивают эффективное проникновение в геологической среде. Высокая чувствительность приемников и низкий уровень внутренних шумов системы дает способность дифференцировать высокоомные геологические образования с сопротивлениями в несколько тысяч



Рис. 2. Внешний вид вертолетного аэрогеофизического комплекса

Ом. Петля передатчика устанавливается на летательном аппарате (рис. 2), а приемник буксируется за ним в гондole. Также в гондole устанавливается приемник GPS и датчик магнитометра. Глубинность данного метода в случае преобладания высокоомных неизменных магматических и метаморфических пород может достигать 200 м.

Точность плановой привязки точек наблюдения при использовании современных систем спутниковой навигации составляет менее 1 м.

Данный комплекс целесообразен исходя из структурных прогнозно-поисковых предпосылок локализации оруденения:

- *зоны разрывных нарушений различного порядка и узлы их пересечения, зоны дробления и трещиноватости могут быть выявлены с помощью аэромагниторазведки и аэроэлектроразведки;*
- *зоны сульфидизации и гидротермальной минерализации при благоприятных условиях могут быть откартированы посредством аэроэлектроразведки;*
- *зоны метасоматически измененных пород, в частности области проявления калиевого метасоматоза могут быть выявлены и прослежены на основе аэрогамма-спектрометрических измерений;*

- *при наличии связи золотого оруденения с магматизмом, интрузивные комплексы могут быть откартированы по данным аэромагниторазведки и аэрогамма-спектрометрии.*

Оптимальным масштабом аэрогеофизической съемки следует считать 1:10 000 (расстояние между маршрутами 100 м), а допустимым в некоторых случаях — 1:20 000 (расстояние между маршрутами 200 м).

Характеристика объекта и стратегия аэрогеофизических поисков

Основными геолого-промышленными типами месторождений золота, выявленными в России, являются:

1. Гидротермальные месторождения, наиболее часто встречающиеся на нашей территории, могут быть подразделены на плутогенные и вулканогенные. Первые связаны с гранитоидными батолитами средней стадии геосинклинального этапа, преимущественно гранодиоритового состава, а также с малыми гипабиссальными интрузиями этапа активизации платформ. Такие месторождения распространены на Урале, Алтае, в Забайкалье. Вулканогенные гидротермальные месторождения приурочены к позднегеосинклинальным андезит-липаритовым поясам и характерны для Охотско-Чукотского пояса. ▶

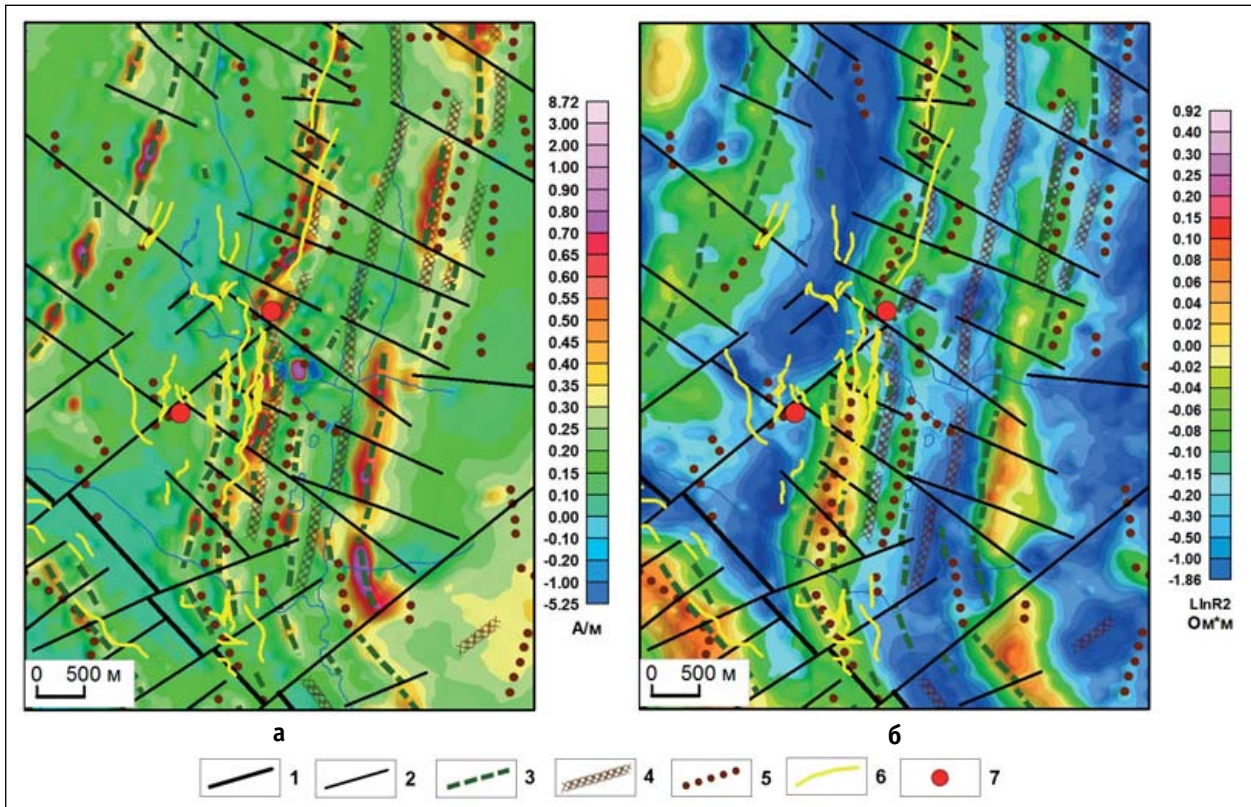


Рис. 3. Особенности внутреннего строения тектонической зоны: а) — эффективная намагниченность; б) — эффективные сопротивления на частоте 520 Гц
 1 — разрывные нарушения 1-о порядка; 2 — разрывные нарушения сдвигового типа; 3 — линейные магнитные аномалии, связанные с минерализованными зонами дробления, дайками и силлами габбро-диабазов; 4 — линейные зоны повышенной электропроводности, связанные с минерализованными и ослабленными зонами дробления и трещиноватости; 5 — линейные зоны повышенных сопротивлений, связанные с окварцованными зонами дробления; 6 — рудные залежи; 7 — коренные месторождения золота

2. Месторождения в углеродистых терригенных и терригенно-карбонатных комплексах, приуроченные к зонам интенсивного расщепления пород черносланцевых формаций (углеродистые сланцы, алевролиты, песчаники, кремнистые и карбонатные породы), испытавших метаморфизм зеленосланцевой фации. К этому типу относят месторождения Ленского района и Енисейского края.
3. Скарновые месторождения — встречаются довольно редко. Обычно они принадлежат к нормальным известковым скарнам гранат-пироксенового состава с включениями сульфидов, в том числе золотосодержащих. В России такие месторождения встречаются в Сибири и Горном Алтае.
4. Месторождения золотосных кор выветривания и окисленных руд.
5. Россыпные месторождения, образующие аллювиальные, долинные и террасовые россыпи.

Во всех случаях месторождения золота относятся к числу слабоконтрастных объектов. Они характеризуются отсутствием четких физических границ — контуры месторождений оконтурены величиной бортового содержания, которая может изменяться в

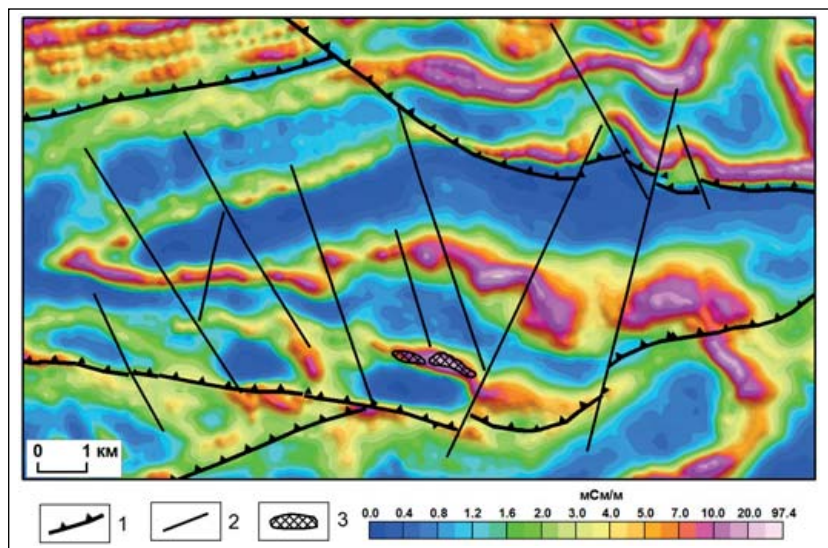


Рис. 4. Отражение пликвативных структур толщи углеродсодержащих отложений линейными зонами повышенной электропроводности
 1 — надвиги; 2 — нарушения сбросо-сдвигового типа; 3 — золоторудные залежи.
 Цветовая подложка — поле электропроводности на частоте 520 Гц

широких пределах в зависимости от конъюнктуры рынка, а также малой контрастностью в физических полях контролирующих оруденение факторов. Для таких месторождений наиболее эффективным представляется использование двух дополняющих подходов: последовательное картирование прогнозных факторов локализа-

ции оруденения и использование вероятностных методов прогноза, основанных на использовании алгоритмов распознавания образов. При этом решающая роль при интерпретации геофизических вообще и аэрогеофизических методов в частности принадлежит методам специального анализа и моделирования данных.

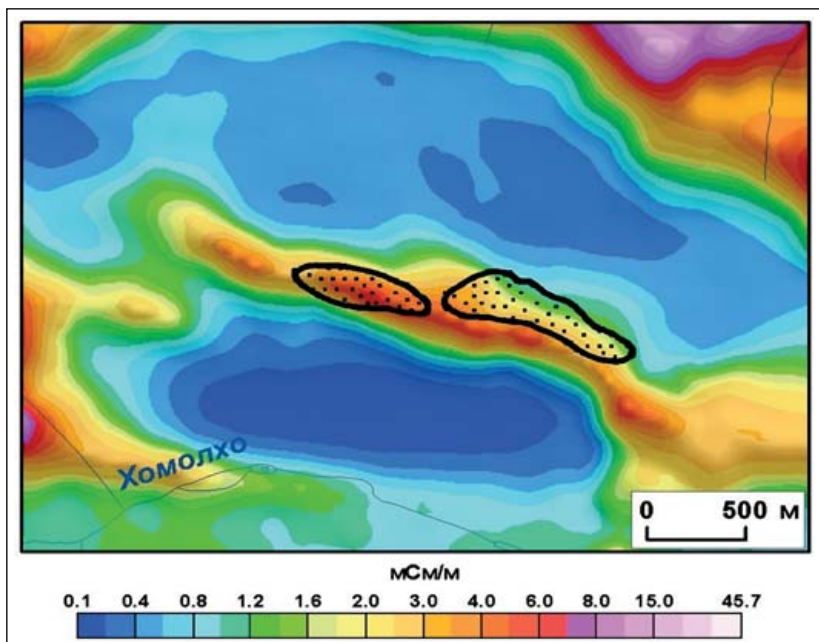


Рис. 5. Отражение рудных залежей золото-сульфидного месторождения в электроразведочных моделях, электропроводность на частоте 2080 Гц

Примеры картирования прогнозных факторов контроля оруденения

На основании изучения условий локализации золоторудных залежей и месторождений приняты следующие

прогнозно-поисковые предпосылки (факторы) локализации оруденения, приведенные в работах ряда исследователей (Перевалов, 1977, Ерофеев, 2011, Волков, 2006 и др.): структурно-тектонический, литолого-стратигра-

фический, гидротермально-метасоматический, магматический, метаморфический.

Структурно-тектонический фактор

Контролирующими структурами в размещении золотосульфидной минерализации являются зоны послонквиважных трещин в призмковых частях локальных антиклиналей. Оруденение локализуется в узлах пересечения субсогласных зон расланцевания и поперечных нарушений, зон трещиноватости и расланцевания. Зоны расланцевания и трещиноватости отражаются линейными магнитными аномалиями, линейными аномалиями проводимости и сопротивлений и их сместителями.

На рисунке 3 показана тектоническая зона, имеющая рудоконтролирующее значение. В магнитных и электрических полях она проявляется в виде серий линейных знакопеременных локальных аномалий магнитного поля и модели сопротивлений, ориентированных согласно простиранию зоны.

Литолого-стратиграфический

Золото-сульфидные залежи локализируются в породах углеродисто-терри-

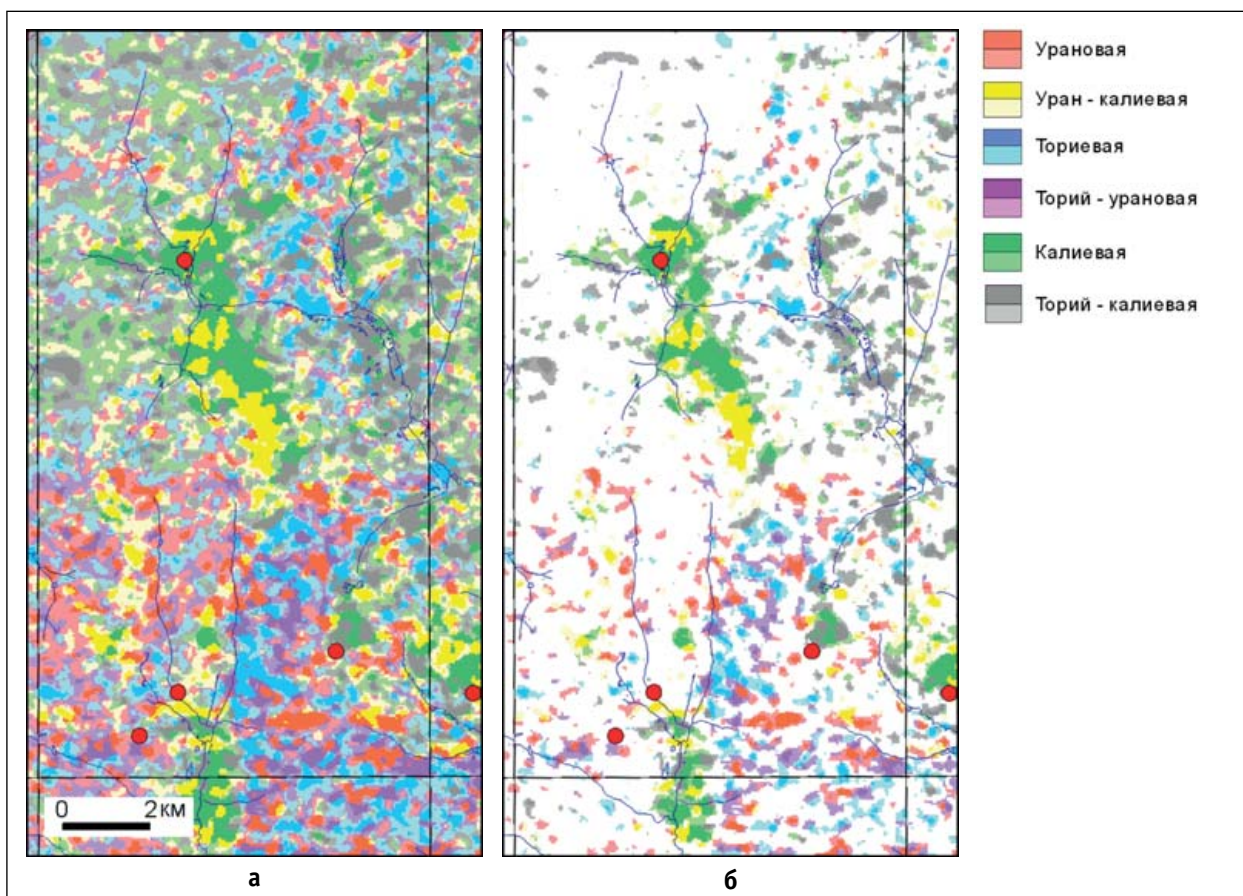


Рис. 6. Карта радиогеохимического районирования по взаимоотношению концентраций радионуклидов (технология АРК): а) — светлые тона 0–1,3 стандарта, темные тона > 1,3 стандарта (полный массив данных); б) — светлые тона 1,3–2 стандарта, темные тона > 2,0 стандартов (выделены аномальные области); красные кружки — коренные месторождения золота

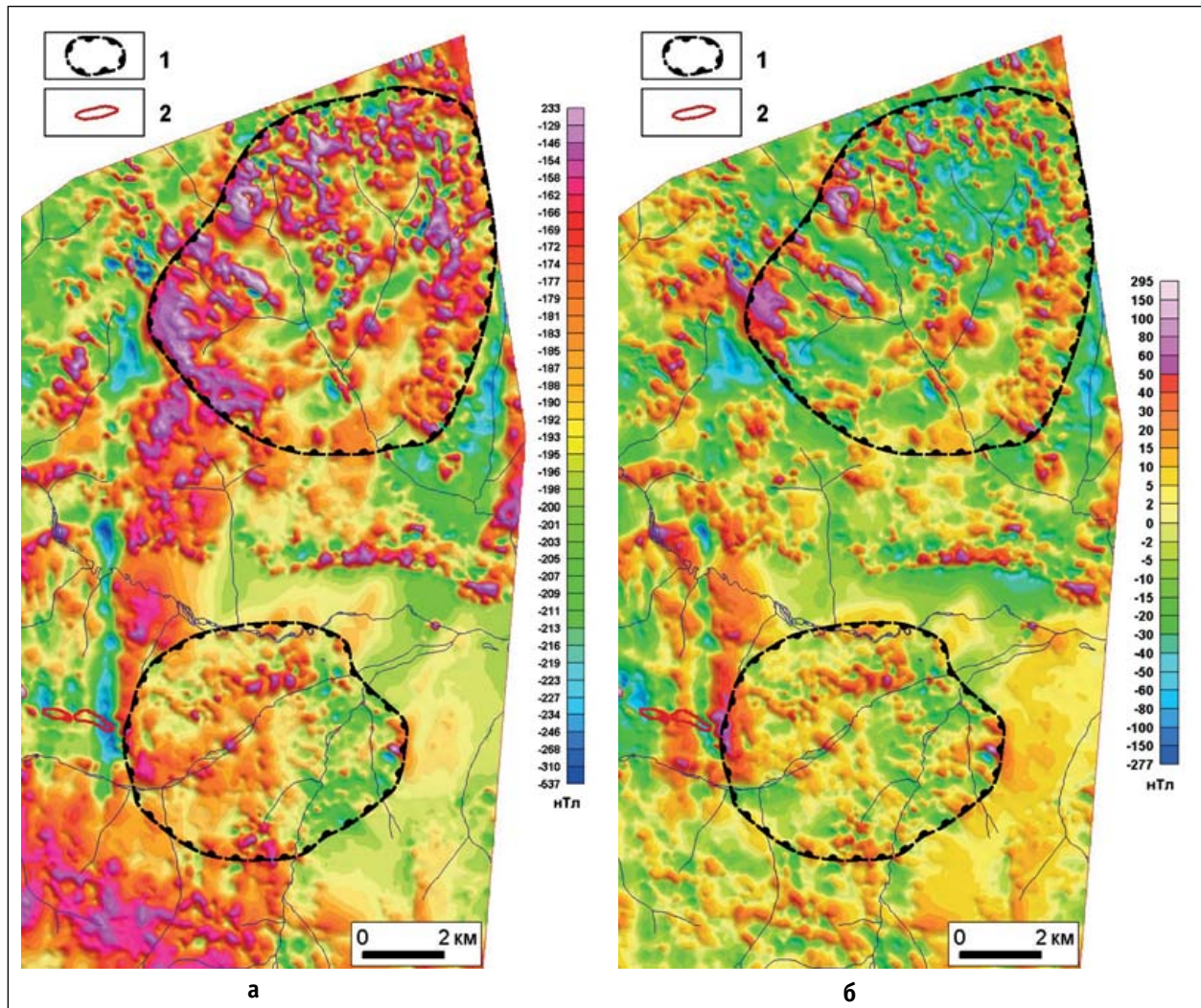


Рис. 7. Проявленность погребенных интрузий гранитоидов в магнитном поле: а) — аномальное магнитное поле; б) — остаточное магнитное поле

генных черносланцевых комплексов. Благоприятным фактором локализации являются пачки карбонатных пород, образующие геохимические барьеры на контакте с углеродсодержащими сланцами. Углеродсодержащие толщи отражаются в электропроводных материалах зонами повышенной электропроводности, пачки карбонатных пород проявляются участками высокоомного поля (рис. 4 и 5 на с. 66 и 67 соотв.).

Гидротермально-метасоматический фактор

Золотое оруденение локализуется в зонах проявленности гидротермально-метасоматических процессов. Характерными из них являются зоны жильно-прожилкового окварцевания, бурошпатовой и сульфидной минерализации (пирротинизация), сопровождающиеся серицитизацией, хлоритизацией и альбитизацией пород. Области пирротиновой минерализации отражаются зонами линейных магнитных аномалий отрицательного знака. Участки серицитизации прояв-

ляются в материалах аэрогамма-спектрометрии областями повышенных содержаний калия, сменяющимися на флангах участками повышенных содержаний урана. Зоны прожилково-окварцевания проявляются участками повышенных сопротивлений.

При анализе данных аэрогамма-спектрометрии, выполняется радиогеохимическое районирование территории. Для решения этой задачи наиболее эффективна технология АРК (Краснов и др., 1983), которая нацелена на выявление радиогеохимически специализированных комплексов горных пород и картирование участков гидротермально-метасоматических изменений. Метод базируется на разделении исходного радиогеохимического поля на фоновую и аномальную составляющие, на основе компонентного анализа. Районирование в данном случае выполняется на основе анализа соотношений (превышения одного над другими) выделенных аномальных (или «вторичных») компонент.

На рисунке 6 (с. 67) районирование по технологии АРК отражает степень проявленности по площади наложенных эпигенетических процессов, следствием которых явилось смещение баланса концентраций в сторону того или иного радионуклида. Полную картину взаимоотношения элементов отражает карта всего массива отклонений от фоновых параметров (рис. 7, а), включая минимальные отклонения. На ней отражаются все изменения параметров от максимальных отклонений до перехода к близковым значениям, что позволяет выявить зональность объектов разного порядка. На карте, подрезанной по уровню 1,3 стандарта фона (рис. 7, б), вычлняются аномальные зоны проявления наложенных процессов.

Выделяется две выраженные области проявления эпигенетических процессов. Первая имеет калиевую и калий-урановую специализацию. Она состоит из цепочек областей повышенных значений калия и урана, вытя-

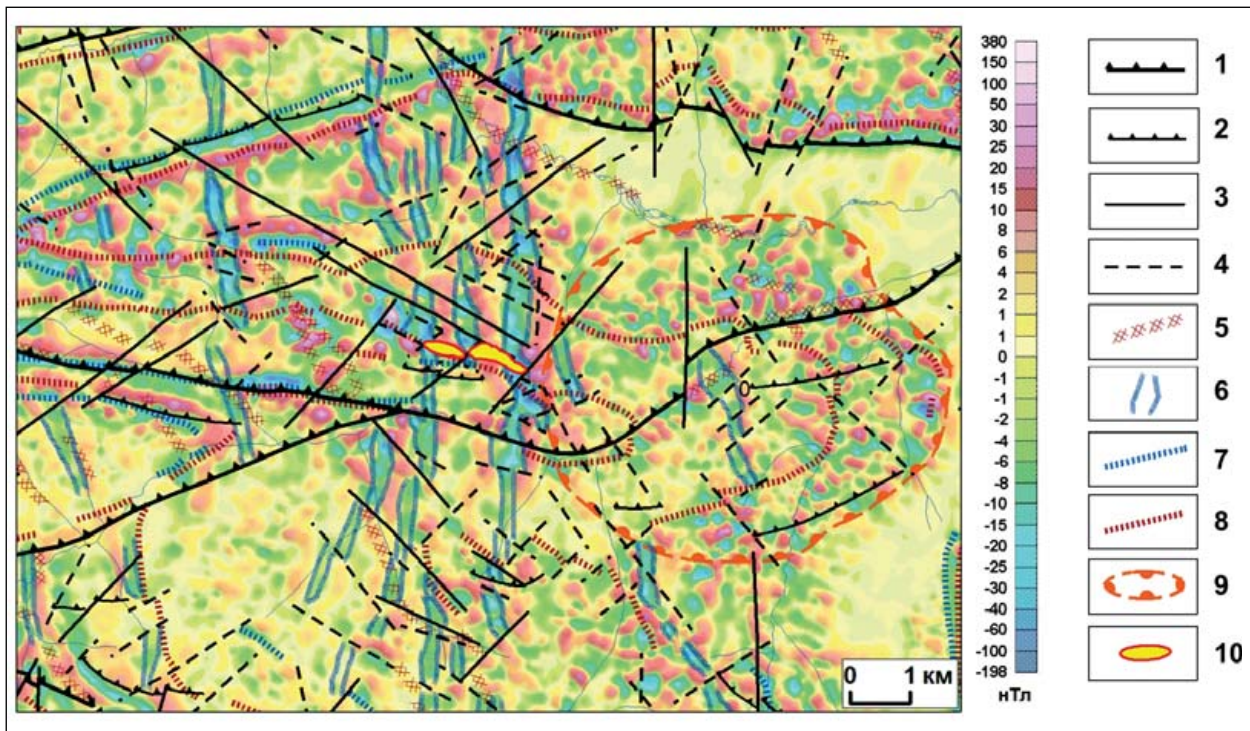


Рис. 8. Приуроченность золоторудных залежей к прогнозным факторам, выявленным по результатам интерпретации аэрогеофизических данных
 1–6 разрывные нарушения: 1–2 — взбросо-надвигового типа (1 — главные; 2 — второстепенные); 3–4 — взбросо-сдвигового типа (3 — достоверные; 4 — предполагаемые); 5 — зоны повышенной электропроводности, связанные с зонами дробления; 6 — линейные зоны отрицательных магнитных аномалий, связанные с процессами пирротинизации и метасоматического перемативания пород; 7 — субсогласные зоны пирротинизации; 8 — субсогласные зоны повышенной электропроводности, связанные с пачками углеродсодержащих сланцев; 9 — области мелкой ячейки структуры магнитного поля, связанные с влиянием позербенных интрузий гранитоидов; 10 — обобщенные контуры золоторудных залежей. Цветная подложка — карта локальной составляющей магнитного поля

нутых в субмеридиональном направлении. В пределах данных областей отмечается определенная зональность: внутренние части представлены существенно калиевой специализацией, которая в сторону флангов сменяется калий-урановой. Данные области можно связывать с проявлением процессов щелочного метасоматоза. Известно, что с процессами щелочного метасоматоза (серцитизация) связано становление золоторудных залежей золото-кварцевой и золото-сульфидной рудных формаций (Альтшулер, 1993).

Магматический фактор

Отмечается пространственная (парагенетическая) связь золотого оруденения с проявлениями гранитоидного магматизма — как фактора активизации миграционных процессов золота, так и как источника рудного вещества. Погрбенные интрузии гранитоидов отражаются системами концентрически построенных аномальных магнитных полей (рис. 7).

Золоторудные залежи тяготеют к участкам пространственного сближения прогнозно-поисковых предпосылок (факторов), главные из которых отражаются в материалах аэрогеофизических работ: трансформантах геофизических полей и геофизических моделях (рис. 8). ▶

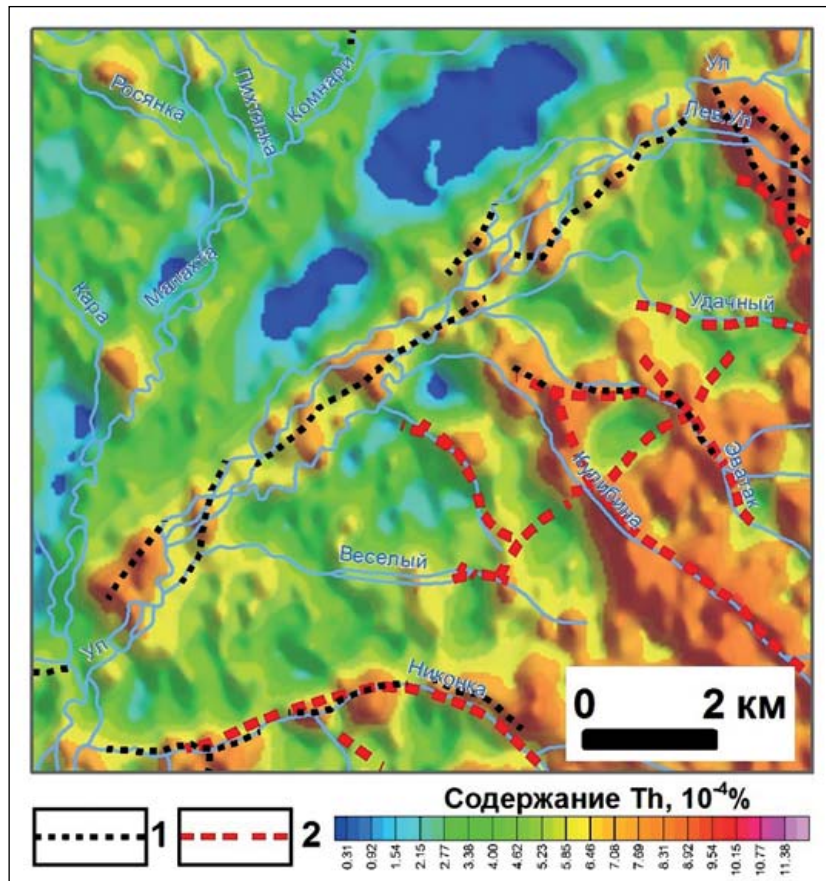


Рис. 9. Выраженность россыпей золота на карте содержаний тория
 1 — линейные аномалии тория, приуроченные к долинам рек;
 2 — известные россыпи золота

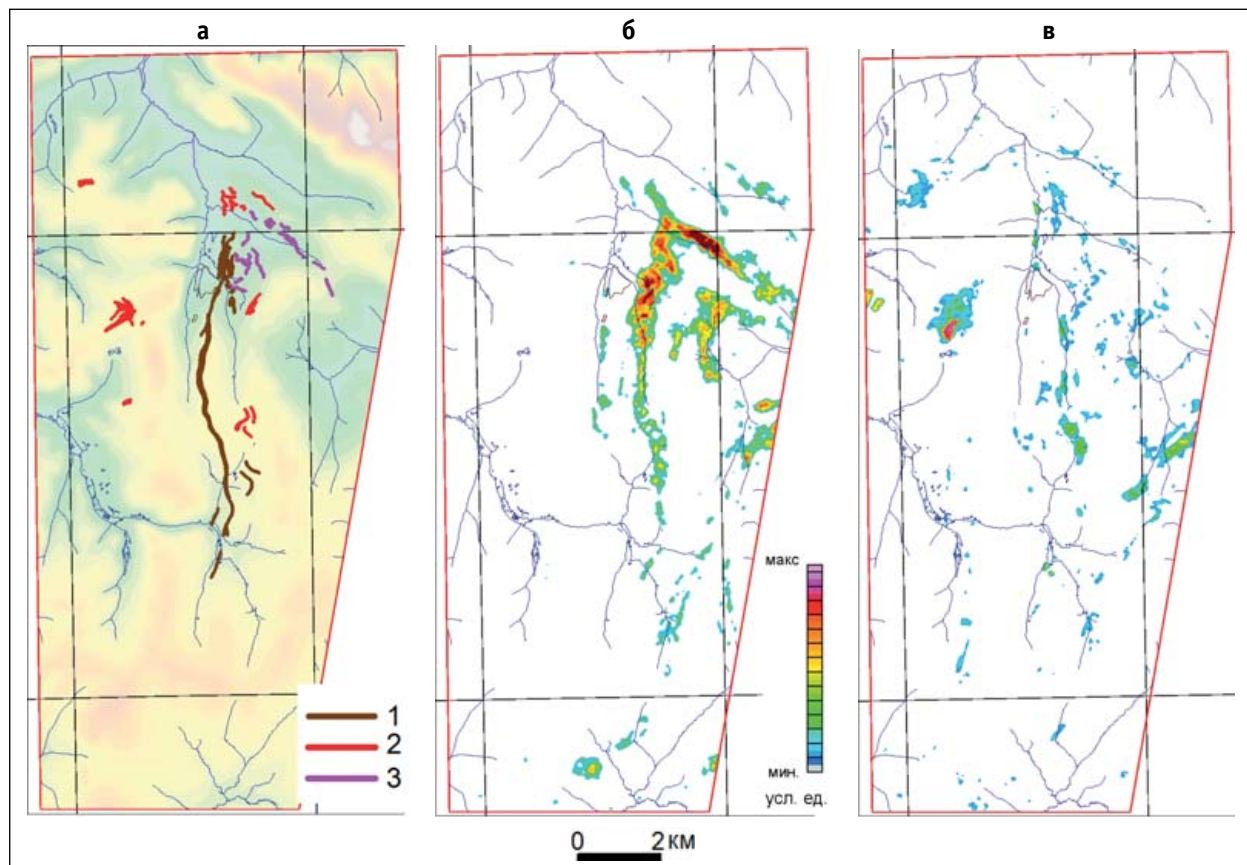


Рис. 10. Результаты формального прогноза золотого оруденения: а) — положение эталонных объектов; б) — прогноз по эталонам золото-кварц-сульфидного типа (2); в) — прогноз эталонам золото-сульфидного типа (3)

При поисках россыпного золота в качестве косвенных поисковых предпосылок могут быть эффективно использованы результаты аэрогамма-спектрометрической съемки. Известно, что торий характеризуется слабой способностью к миграции, т.к. связан преимущественно с акцессорными минералами. В связи с этим мы рассматриваем положительные аномалии тория, приуроченные к долинам рек или придолинным территориям, как участки возможной локализации устойчивых к разрушению акцессорных минералов в составе фаций терригенных отложений, обогащенных минералами тяжелой фракции. Использование данного косвенного поискового признака позволило выделить участки долин, перспективные нахождение россыпей проявлений золота (рис. 9).

Для прогноза слабоконтрастных объектов по комплексу геолого-геофизических данных используется формальный прогноз оруденения с использованием алгоритма, разработанного, специально, представленных в количественной, полуколичественной и качественной форме, в условиях неравномерной изученности территории [Бабаянц, 1990].

Одним из основных преимуществ используемого алгоритма является отсутствие необходимости предвари-

тельной селекции наиболее информативных признаков. Это допускает использование заведомо избыточного набора исходных данных.

Пример прогноза золотого оруденения с использованием алгоритмов распознавания образов с обучением на трех группах эталонов (золото-кварцевого, золото-кварц-сульфидного и золото-сульфидного типов) приводится на рисунке 10, где представлены карты коэффициента сходства с каждым из эталонных объектов. Важно, что широкий спектр исходных параметров, их трансформант, результатов моделирования и специальной обработки позволяет сформировать массив исходных признаков размерностью более 50.

На основе анализа проявленности на изучаемой территории принятых прогнозно-поисковых предпосылок и при-

знаков, выделяются участки, перспективные на обнаружение залежей рудного золота.

Особенности аэрогеофизических съемок (высокая производительность, комплексность, дешевизна, информативность) определяют наибольшую эффективность их использования в качестве опережающих, с тем, чтобы можно было, опираясь на результаты их интерпретации, оперативно управлять поисковым процессом на основном этапе работ. Тем самым аэрогеофизические технологии являются эффективным средством оптимизации геологоразведочного производства за счет сокращения времени на опоиcкование территории и более точного позиционирования дорогостоящих горно-буровых работ, что делает их использование особенно актуальным в условиях кризиса. ♦



1. Перевалов О.В., Скотников В.Н., Баженов М.М. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов верхнего течения рек Бол. Патома, Хомолхо и участка «Чертова Корыто». Иркутск, 1977.
2. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Магнито-геологические модели золоторудных тел и возможности магнитометрии при их разведке. Минералогия Северо-Восточной Азии: материалы II Всероссийской научно-практической конференции Улан-Удэ, ИД «Экос», 2011 г. С. 46–47.
3. Волков А.В., Гончаров В.Н., Сидоров А.А. Месторождения золота и серебра Чукотки. Москва-Магадан, 2006.
4. Читалин А.Ф. Золотоносность Чукотки и поиск месторождений золота и серебра // Конференция «Чукотка, энергия территории, инвестиции, потенциал, перспективы». Москва, 2016.
5. Калмыков Б.А., Трусов А.А. Возможности выявления рудоконтролирующих структур по материалам аэроэлектроразведки // Разведка и охрана недр. 2015. №12. С. 33–37.
6. Альшулер М.И., Кузьмин Г.И. Крупномасштабный прогноз золоторудных объектов по комплексным аэрогеофизическим данным. С-Пб, 1993. 157 с.
7. Аэрорадиогеохимическое картирование /Методические рекомендации/ Краснов А.И., Высокоостровская Е.Б., Зубов Е.И. и др. — Л., НПО Рудгеофизика, 1983. 104 с.
8. Бабаянц П.С. Алгоритм решения прогнозно-поисковых задач в рамках вероятностно-статистического подхода для качественных признаков //Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1990. № 1.