

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАМСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВЕРХНЕЕ ПРИАМУРЬЕ) И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ
ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА**

М.Ю. Носырев

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 68000;
e-mail: mikhail.nosyrev@yahoo.com*

Поступила в редакцию 26 ноября 2015 г.

Проведено изучение геофизических полей разного масштаба для месторождения золота Бамское и Апсаканского золоторудного узла, расположенных на территории Амурской области. Выполнено моделирование гравитационных и магнитных аномалий по отдельным профилям. Выявлены особенности геофизических полей и глубинного строения земной коры, характерные для золотоносных площадей разного ранга. Оценена возможность их использования для прогнозирования и поисков месторождений золота в пределах Становой области Алдано-Станового щита.

Ключевые слова: золото, месторождение, геофизическая аномалия, моделирование, прогнозирование, Становая область.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение золота Бамское расположено в северной части Амурской области в 120 км к северо-западу от города Тынды. Месторождение входит в Апсаканский золоторудный узел (АЗУ) в пределах традиционно выделяемого Апсакано-Нагорненского золоторудного района, включающего также несколько десятков проявлений коренного золота [8]. По результатам более чем двадцатилетнего изучения Бамское месторождение может рассматриваться как крупный золоторудный объект, где минерализация прослежена на глубину около 300 м. На сегодняшний день это единственное промышленное месторождение золота в северной части Амурской области. Поэтому изучение его характеристик, особенностей локализации являются важным фактором прогнозирования и поисков новых золоторудных объектов.

Месторождение и Апсаканский узел относительно хорошо изучены геофизическими методами: помимо региональных аэромагнитных и гравиметрических материалов масштаба 1:200 000 здесь на достаточно большую площадь есть аэрогамма-спектрометрическая и магнитная съемки (АГСМ) масштаба 1:50 000, на площадь около 300 км² – гравиразведка того же масштаба. Рудное поле изучено наземной магнито-разведкой и электропрофилированием, в том числе в

модификации вызванной поляризации (ВП) масштаба 1:10 000, минерализованные зоны пересечены линиями ВЭЗ. Эти материалы позволяют достаточно обоснованно выделить ряд особенностей геофизических полей района месторождения, которые могут быть использованы при поисковых работах.

Геофизические поля и элементы глубинного строения территории будут рассмотрены на трех уровнях: для Апсаканского золоторудного узла, для западной части узла, где расположено Бамское месторождение и собственно для месторождения. Рассмотрение материалов разного масштаба в конечном итоге определяет полную геофизическую модель месторождения и дает возможность прогнозирования и выделения перспективных площадей путем последовательной локализации и укрупнения масштаба исследований. Кроме того, возможно, именно совмещение разномасштабных и разноглубинных признаков повышает вероятность выявления значимого золоторуднения.

Апсаканский золоторудный узел располагается в пределах Ларбинского блока Становой гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита Сибирской платформы [13, 14]. На площади узла развиты метаморфические породы джигдалинской свиты нижнего архея, вулканогенные образования раннего мела

и интрузивные образования мезозойского возраста [8, 12, 14] (рис. 1 А, рис. 2 А).

Переслаивающиеся кристаллические сланцы и гнейсы джигдалинской свиты образуют ряд ксенолитов удлиненной и изометричной формы, имеющих размеры до нескольких десятков квадратных километров. Андезиты, дациты, их туфы сэгангринской свиты раннего мела слагают ряд вулканических построек в западной части Апсаканского района и на площади узла развиты ограниченно в его южной части.

Широкое развитие в пределах узла имеют мезозойские интрузии. Средне-позднеюрские интрузии тындинско-бакаранского комплекса располагаются в его южной части. Наибольшую площадь на территории узла занимают позднеюрско-раннемеловые интрузии чубачинского комплекса, представленные гранитами, лейкогранитами, аплитами, пегматитами. Эти породы слагают крупный Чубачинский массив [7,12]. Интрузии джелиндаканского комплекса раннего мела формируют небольшие изометричные интрузии габбродиоритов, диоритов, гранодиорит-порфиоров, граносиенит-порфиоров в центральной и юго-восточной частях узла [12]. К заключительным фазам этого комплекса относится и Невачанский плутон – крупная раннемеловая интрузия сиенитов, граносиенитов, граносиенит-порфиоров, расположенная в нескольких километрах западнее Бамского месторождения (рис. 1 А). Интрузия вытянута в меридиональном направлении почти на 20 км при ширине в несколько километров. Возраст данных пород определялся в 101 млн лет и некоторыми авторами подобные интрузии выделялись в отдельный невачанский комплекс [13]. Наиболее молодыми магматическим образования на площади являются дайки разнообразного состава. В пределах узла преобладают разрывные нарушения субширотного и северо-восточного простираний. Часть из них, в основном на границах блоков метаморфических пород, рассматривается как надвиги [1, 12].

Золотоносность Апсаканского узла определяется месторождением золота Бамское и более чем десятком проявлений и точек минерализации. В западной части узла находятся месторождение и ряд проявлений золото-серебряного геохимического типа (Ключ, Ерничное, Сивакан), характеризующиеся низко-среднетемпературными метасоматическими изменениями пород (березитизация, аргиллизация). Проявления в восточной части узла объединяются в Апсаканскую золотоносную зону, вытянутую в северо-западном направлении на несколько десятков километров.

Апсаканский золоторудный узел является наиболее продуктивным и единственным, где выявлено промышленное золотое оруденение. Остальные узлы Апсакано-Нагорненского района ни по насыщенности

проявлениями коренного золота, ни по запасам и прогнозным ресурсам не могут быть сравнимы с Апсаканским.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ

Особенности региональных геофизических полей и некоторые глубинные характеристики литосферы применительно к золоторудным узлам и районам Верхнего Приамурья неоднократно рассматривались автором ранее [2, 9–11]. Поэтому далее остановимся на них кратко.

Район месторождения практически не изучен глубинными геофизическими методами, Единственно в 75 км восточнее месторождения проходит южный отрезок опорного геофизического профиля 3-ДВ Сквородино–Томмот [5]. Поэтому отмечаемые ниже особенности литосферы носят предположительный характер. Они частично взяты из работы [3], частично получены автором (рис. 1).

1. Апсакано-Нагорненский район вытягивается вдоль северной краевой части узкого гребневидного выступа астеносферы, где мощность литосферы сокращена до 60 километров на фоне 140–150 км с севера и юга. Данный выступ имеет минимальную ширину до 100 км и простирается в субширотном–юго-западном направлении на сотни километров, расширяясь к востоку [14].

2. Район располагается на границе двух крупных блоков литосферы с разной плотностью верхней мантии. Плотность верхней мантии северного блока (Алданский мегаблок) меньше плотности мантии южного (Становой мегаблок). Перепад плотности по расчетам автора составляет $0.015 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, по данным [3] – $0.02 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3. Мощность земной коры под АЗУ максимальна для Верхнего Приамурья и составляет 42–44 км. Возможно предположить наличие незначительного уступа с уменьшением мощности коры к северу на несколько километров, что отмечается восточнее на сейсмическом профиле [3].

4. Апсакано-Нагорненский район вытягивается вдоль протяженной зоны повышенного горизонтального градиента поля силы тяжести – Южно-Становой гравитационной ступени, а АЗУ своей южной частью накладывается на данную зону. По результатам моделирования данная зона повышенного горизонтального градиента поля силы тяжести помимо плотностной неоднородности мантии фиксирует плотностную неоднородность в верхней и средней частях земной коры, связанную с существенным увеличением доли мезозойских гранитоидов к северу от ступени по сравнению с преимущественно метаморфическим составом южного, более плотного блока. Данная вы-

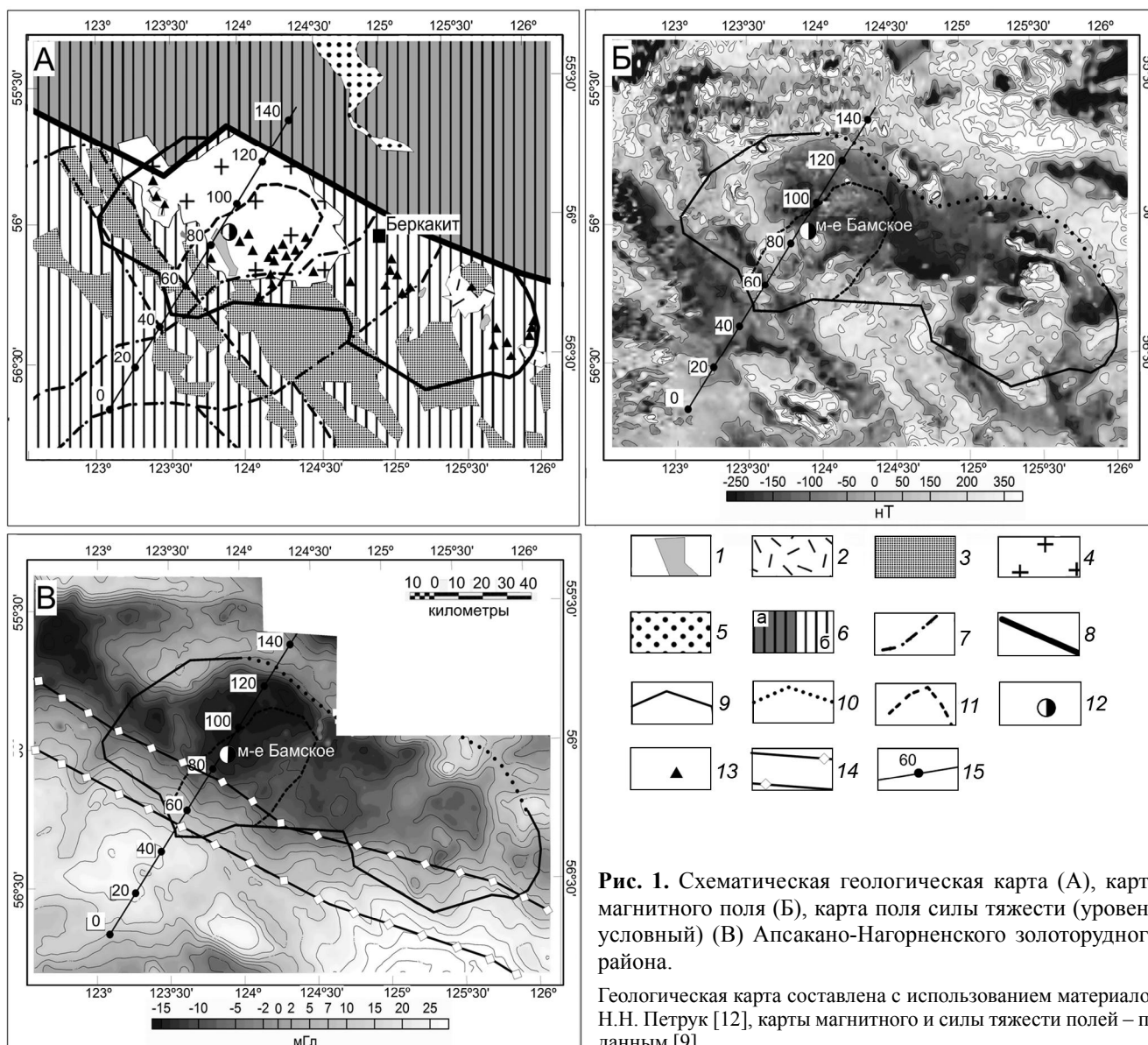


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (А), карта магнитного поля (Б), карта поля силы тяжести (уровень условный) (В) Апсакано-Нагорненского золоторудного района.

Геологическая карта составлена с использованием материалов Н.Н. Петрук [12], карты магнитного и силы тяжести полей – по данным [9].

1 – интрузии джелиндаканского (невачанского) комплекса; 2 – вулканогенные породы; 3 – гранитоиды тындинско-бакаранского комплекса (J_{2-3}); 4 – граниты Чубачинского комплекса (Чубачинский массив) (J_3-K_1); 5 – осадочные породы Чульманского прогиба (J_3); 6 – архейские гранит-метаморфические образования нерасчлененные (Ar_2): а – в пределах Алданской гранулит-гнейсовой области, б – в пределах Становой гранит-зеленокаменной области; 7 – основные разломы; 8 – Становой разлом; 9 – граница Апсакано-Нагорненского золоторудного района; 10 – то же, предполагаемая по геофизическим данным; 11 – граница Апсаканского золоторудного узла; 12 – месторождение золота Бамское; 13 – рудопоявления и проявления золота; 14 – Южно-Становая гравитационная ступень; 15 – расчетный профиль, цифры – пикеты в км.

сокоамплитудная (несколько десятков мГл) гравитационная ступень (Южно-Становая гравитационная ступень) северо-западной ориентировки отвечает, по всей видимости, широкой сквозной зоне деструкции земной коры и контролирует область интенсивного проявления мезозойского магматизма.

Автором выполнено совместное моделирование гравитационного и магнитного полей по линии, пересекающей Апсаканский узел рядом с месторождени-

ем (рис. 2). Здесь и далее моделирование выполнено с использованием программы ZondPGM [14]. Расчет выполнен при условии уменьшения плотности верхней мантии по осевой линии гравитационной ступени на $0.015 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ для северной части разреза.

5. В пределах АЗУ Южно-Становая гравитационная ступень осложнена целой серией поперечных линейных элементов поля силы тяжести северо-восточной до меридиональной ориентировки. Это выра-

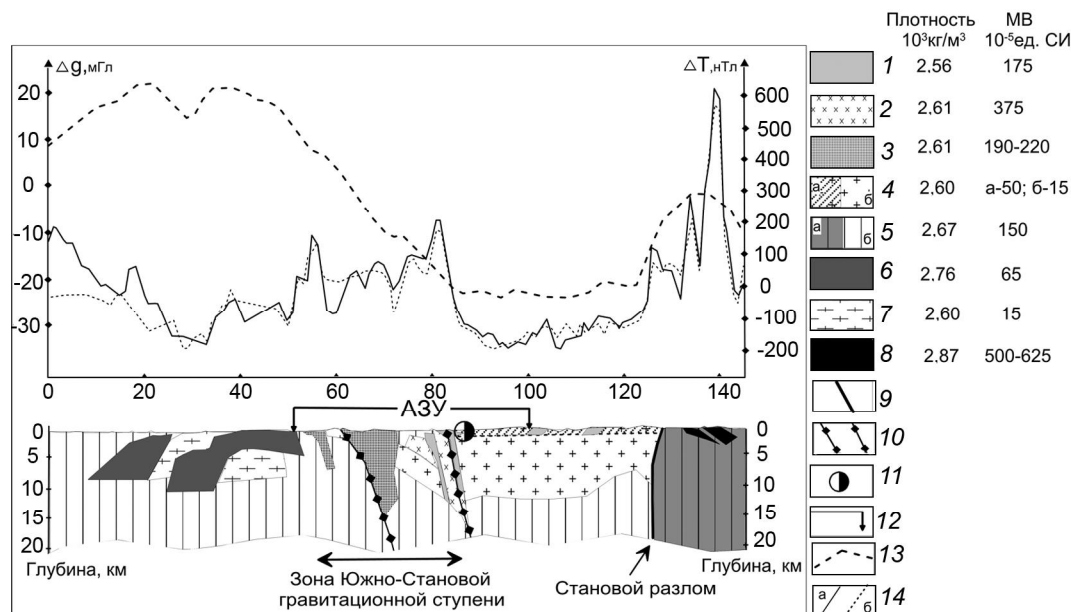


Рис. 2. Схематический геолого-геофизический разрез верхней части земной коры через Апсаканский золоторудный узел (расчет поля силы тяжести выполнен при условии уменьшения плотности верхней мантии в северном блоке на $0.015 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, мощность коры — 42 км, граница плотностей в мантии — пикет 78).

1 — сиениты, сиенит-порфиры джелиндаканского (невачанского) комплекса (K_1); 2 — гранодиориты, диориты джелиндаканского комплекса (K_1); 3 — гранитоиды тындинско-бакаранского комплекса (J_{2-3}); 4 — гранитоиды Чубачинского массива (J_3-K_1); а — насыщенные ксенолитами метаморфических пород, б — без ксенолитов; 5 — региональный «фон»: метаморфические, в различной степени гранитизированные породы (Ag_2): а — в пределах Алданского мегаблока, б — в пределах Станового мегаблока; 7 — архейские граниты; 8 — архейские ультрабазиты; 9 — Становой разлом; 10 — зона разломов, отвечающая Южно-Становой гравитационной ступени; 11 — месторождение Бамское; 12 — границы Апсаканского золоторудного узла (АЗУ); 13 — кривая поля силы тяжести (уровень условный). Расчетная кривая не показана, так как повторяет исходную кривую с отклонением не более 0.3 мГл; 14 — кривые магнитного поля: а — наблюдаемые, б — подобранные.

жается, прежде всего, флексуобразными изгибами и смещениями изолиний в пределах зоны повышенного горизонтального градиента, локальными аномалиями поля силы тяжести, вытянутыми в поперечном к ступени направлении. Данные элементы могут рассматриваться как поперечные разломы, пересекающие и осложняющие основной продольный разлом. Такая ситуация создавала узел с повышенной тектонической нарушенностью и проницаемостью земной коры для магматических расплавов и глубинных флюидов.

6. АЗУ занимает южную краевую часть интенсивного минимума поля силы тяжести, имеющего размеры примерно $50 \times 50 \text{ км}$. Данная аномалия пространственно достаточно точно совпадает с Чубачинским гранитным массивом, породы которого вносят вклад в понижение поля. Очевидно, понижение также связано с телами и более поздних гранитоидов. Данный минимум поля силы тяжести фиксирует область разогрева литосферы и длительной (десятки миллионов лет) концентрации дискретных по времени магматических процессов позднеюрско-мелового возраста. Эта аномалия является наиболее интенсивной в пределах зоны понижений поля силы

тяжести, вытянутой в виде узкой полосы (ширина 35–50 км) в субширотном-юго-восточном направлении. Почти весь Апсакано-Нагорненский район в той или иной мере пространственно совпадает с этим понижением.

7. АЗУ располагается на границе значительной по площади ($45 \times 100 \text{ км}$) отрицательной аномалии магнитного поля, которая довольно тесно совпадает с понижением поля силы тяжести (рис. 1 Б, рис. 1 В). Результаты моделирования (рис. 2) показывают, что породы с минимальными значениями магнитных свойств должны быть распространены здесь на глубину до 10 км. Наличие столь значительного объема немагнитных магматических пород является, вероятно, также результатом длительного прогрева верхней части земной коры. Собственно Бамское месторождение находится как раз на южной границе данного регионального минимума и далее на юг уровень магнитного поля повышается.

СРЕДНЕМАСШТАБНЫЙ УРОВЕНЬ

Переходя к рассмотрению более детальных геофизических материалов, подчеркнем, что месторо-

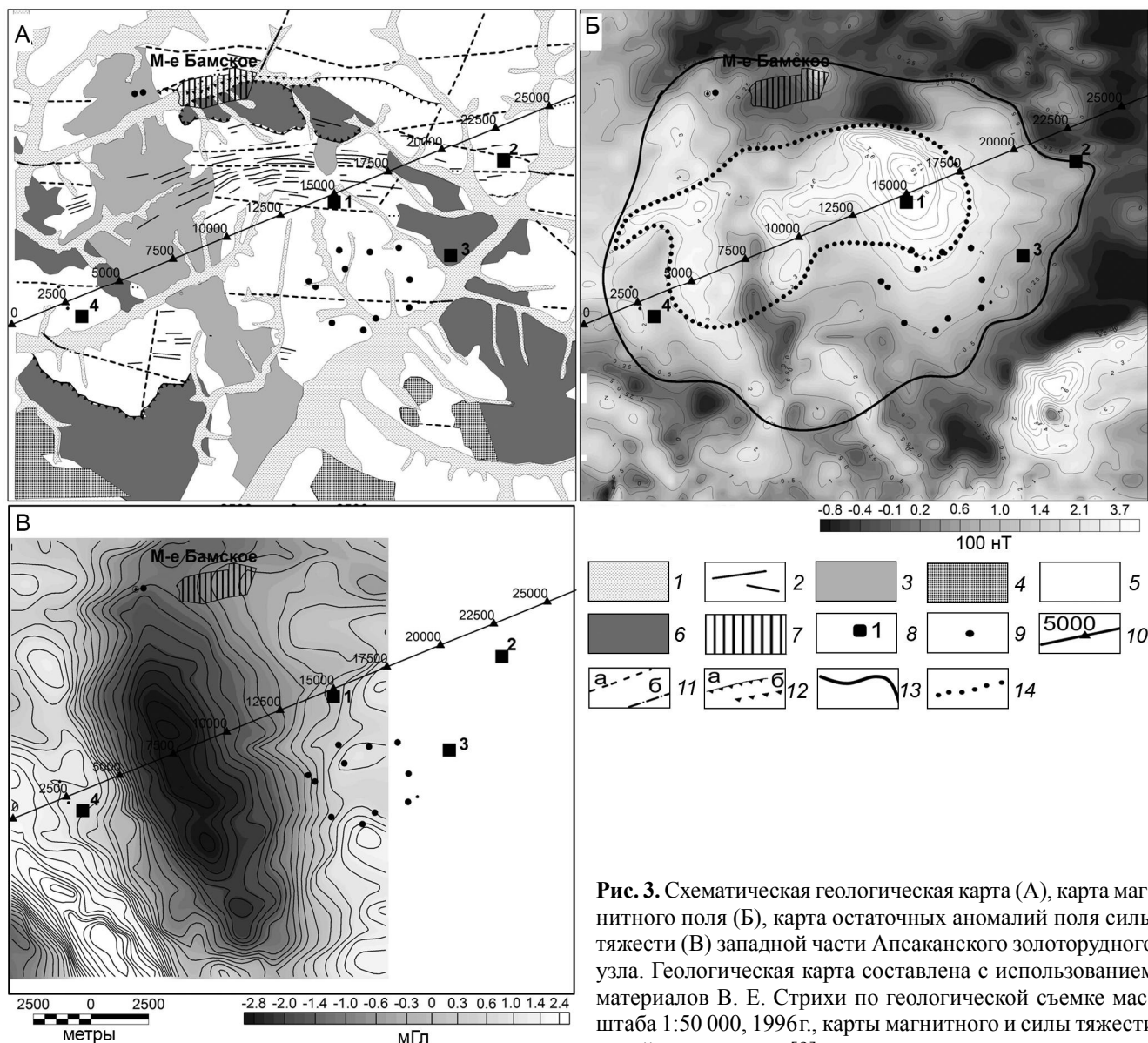


Рис. 3. Схематическая геологическая карта (А), карта магнитного поля (Б), карта остаточных аномалий поля силы тяжести (В) западной части Апсаканского золоторудного узла. Геологическая карта составлена с использованием материалов В. Е. Стрихи по геологической съемке масштаба 1:50 000, 1996 г., карты магнитного и силы тяжести полей – по данным [9].

1 – четвертичные отложения; 2 – дайки гранодиоритов, диоритов; 3 – сиениты, сиенит-порфиры джелиндаканского комплекса (K₁); 4 – гранитоиды тындинско-бакаранского комплекса (J₂₋₃); 5 – граниты Чубачинского массива; 6 – метаморфические породы джигдалинской свиты (Ar₁); 7 – месторождение золота Бамское; 8 – рудопроявления золота: 1 – Дес, 2 – Ерничное, 3 – Сивакан, 4 – Ключ; 9 – прочие проявления и точки минерализации коренного золота; 10 – положение расчетного геолого-геофизического профиля и номера пикетов в м; 11 – разломы (а), в том числе под четвертичными отложениями (б); 12 – надвиги (а), в том числе под четвертичными отложениями (б); 13 – граница Бамской ИКС; 14 – граница «магнитного ядра» Бамской ИКС.

ждение золота Бамское пространственно ассоциирует с интенсивной сложнопостроенной положительной аномалией магнитного поля (рис. 3). Она характеризуется примерно изометричной формой (около 16 км в поперечнике) и имеет зональное строение. В центральной части выделяются два интенсивных экстремума с амплитудами до 500 и 2000 нТл. Западная (менее интенсивная) аномалия частично охватывает западную часть Невачанской интрузии кварцевых сиенитов и прослеживается над породами Чубачинского

массива, фиксируя, очевидно, не вскрытое на поверхности магматическое тело. Восточная аномалия отвечает не менее крупной интрузии с гораздо более высокой магнитной восприимчивостью пород, но практически полностью скрытой на глубине. Здесь известен только один выход кварцевых сиенитов размером 1000×1500, расположенный несколько севернее экстремума аномалии. Между двумя рассмотренными аномалиями отмечается полосовое повышение магнитного поля субширотной ориентировки, «связыва-

ющее» два этих экстремума. Вдоль него фиксируется пояс даек монцодиорит- и гранодиорит-порфиров, а на глубине можно предполагать и более крупное магматическое тело. Далее к периферии кольцевой аномалии интенсивность магнитного поля уменьшается, еще далее появляются участки слабо отрицательного магнитного поля.

Рассмотренная группа магнитных аномалий фиксирует кольцевую структуру магматического генезиса, сформированную интрузиями джелиндаканского комплекса. Сохраняя преобладание, будем называть ее Бамской интрузивно-купольной структурой (ИКС), поскольку ранее по геологическим, морфометрическим и частично геофизическим данным в примерно близких контурах выделялось Бамское вулcano-купольное поднятие – изометричная структура центрального типа [1]. Глубинная характеристика данной структуры дается впервые.

В поле силы тяжести (по данным гравиметрической съемки масштаба 1:50 000) в восточной части ИКС фиксируется слабоамплитудный (до -4.5 мГл) минимум, вытянутый в северо-западном направлении, имеющий размеры 23×10 км, которому с поверхности в общих чертах отвечает Невачанская интрузия кварцевых сиенитов (рис. 3). Это локальная (остаточная) аномалия поля силы тяжести, полученная при пересчете поля вверх на 4 км. Автором выполнено моделирование магнитного и гравитационного полей по профилю, пересекающему аномалию примерно в субширотном направлении. Результаты подбора показаны на рис. 4.

В составе джелиндаканского комплекса выделяются две группы магматических пород – более молодые кварцевые сиениты и сиенит-порфиры и гранодиориты–диориты с плотностями, соответственно, $2.56 \cdot 10^3$ кг/м³ и $(2.60–2.61) \cdot 10^3$ кг/м³. При этом магнитная восприимчивость (МВ) для обеих групп высокая (рис. 4) и уменьшается лишь для гидротермально измененных разновидностей.

Понижение поля силы тяжести связано с интрузией сиенитов лополитообразной формы, слабомагнитных за счет их гидротермальной проработки. Под восточной магнитной аномалией не выделяется пород с параметрами сиенитов, а имеет место крупная интрузия диоритов, возможно даже до габбродиоритов. Картируемые здесь на поверхности сиениты являются выходом на поверхность силлообразного тела, отходящего от центральной Невачанской интрузии. Это отчасти подтверждается результатами моделирования, кроме того подобные тела вскрыты на глубине на месторождении Бамском. Магнитные аномалии в краевых частях Невачанской интрузии связаны с магнитными породами с относительно повышенной (по

сравнению с сиенитами) плотностью, которые интерпретируются как интрузии гранодиоритов–диоритов, не выходящие на поверхность.

Область, создающую отрицательную аномалию поля силы тяжести, можно интерпретировать как корневую часть ИКС, наиболее долгоживущий линейный магмовыводящий канал, выполненный интрузией сиенитов. Эта область являлась и наиболее долгоживущей и проницаемой зоной для циркуляции гидротермальных растворов. Бамское месторождение расположено в краевой северо-восточной части минимума.

Рассмотренная ИКС, сложенная субвулканическими интрузиями джелиндаканского комплекса, в некоторой степени определяет и пространственное распределение золоторудной минерализации в западной части Апсаканского узла. Месторождение и рудопроявления золота располагаются по ее периферии, в слабоположительном или отрицательном магнитных полях (рис. 3). Исключение составляет проявление золота Дес, находящееся почти в центре интенсивной магнитной аномалии. Недостаточная изученность последнего не позволяет объяснить его расположение в нетипичной обстановке, но автор полагает, что это проявление не относится к золото-серебряному геохимическому типу, а является представителем, скорее, молибден-золото-порфировой формации.

Возможно, периферия ИКС может рассматриваться как благоприятная обстановка для формирования мезотермального золотого оруденения. При этом возникает вопрос соотношения пространственного положения золотых объектов относительно двух аномалий: магнитной и поля силы тяжести. Бамское месторождение, занимая периферию магнитной аномалии, одновременно располагается и в краевой части понижения поля силы тяжести. Иными словами, является ли наиболее «благоприятной» обстановкой совпадение краевой части магнитной аномалии и краевой части понижения поля силы тяжести? По всей видимости, это так, поскольку предположительно именно здесь концентрировались длительное время и носили наиболее масштабный характер гидротермальные процессы.

При начале добычи золота на Бамском месторождении, которая весьма вероятно начнется в ближайшие годы, будут вновь возобновлены поиски дополнительных золоторудных объектов в непосредственной близости от месторождения, т.е. фактически в пределах Бамской ИКС. В связи с этим с учетом рассмотренных материалов представляется актуальным высказать ряд рекомендаций, способных повлиять на это направление.

Рассмотренные структурные элементы в совокупности с данными по золотоносности позволяют

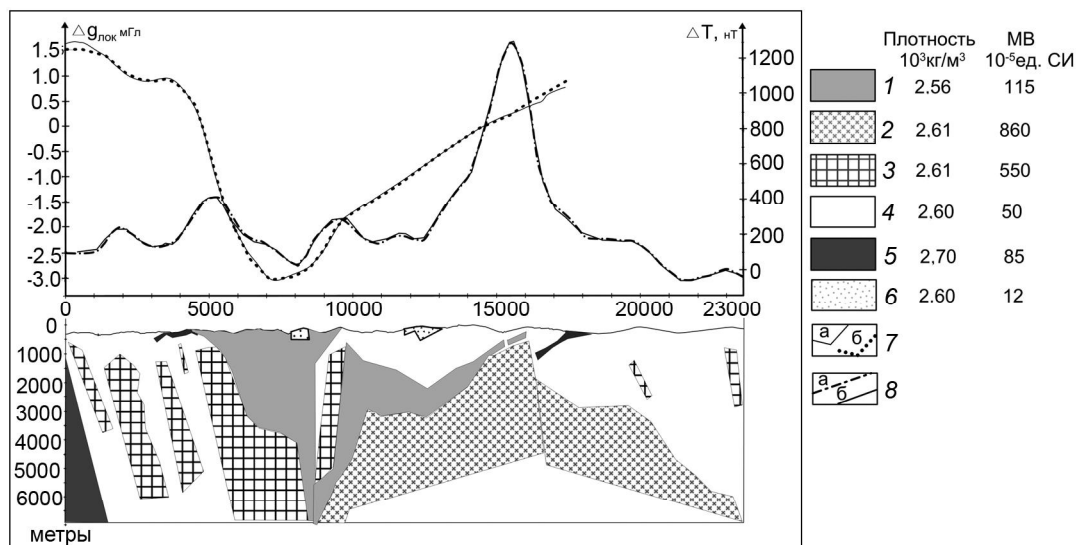


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез через Бамскую ИКС с результатами подбора гравитационных и магнитных аномалий.

1 – граносиениты, граносиенит-порфиры Невачанской интрузии; 2 – диориты; 3 – гранодиориты, диориты; 4 – граниты Чубачинского массива; 5 – метаморфические породы джигдалинской свиты; 6 – гидротермально измененные породы; 7 – кривые локальных аномалий поля силы тяжести: а – полученные из наблюдаемого поля, б – подобранные; 8 – кривые модуля полного вектора магнитного поля (уровень условный): а – наблюдаемые, б – подобранные.

выделить по периферии Бамской ИКС три потенциально золоторудных поля, где может быть развито золотое оруденение (рис. 3).

Бамское рудное поле выделяется в северной части ИКС. Оно охватывает площадь месторождения Бамского и территорию к востоку от него. Его протяженность составляет 12 км при ширине 4–5 км. Рудное поле находится в пределах региональной системы разломов северо-восточного направления. Имеются хорошие перспективы открытия новых минерализованных зон в восточной части поля.

Рудное поле Ключ расположено в юго-западной части Бамской ИКС и вытянуто вдоль ее границы в северо-западном направлении. Проявление Ключ расположено в его центре. Протяженность перспективной части оценивается в 12 км при ширине около 6 км. Здесь развиты граниты чубачинского комплекса, в северной и южной частях отмечаются выходы архейских пород, имеющие тектонические контакты, включая надвиги. Данная площадь расположена в западной краевой части минимума поля силы тяжести, что является важным положительным признаком. Рудное поле характеризуется наличием интенсивных вторичных ореолов рассеяния серебра, золота и свинца [1, 4]. Ореолы золота не изучались. Эта территория обладает наиболее высоким потенциалом на выявление промышленных месторождений золота и при возобновлении работ должна рассматриваться как первоочередная.

Сиваканское рудное поле расположено на восточной и юго-восточной периферии ИКС. Включает известные рудопроявления Сивакан, Ерничное (рис. 3), большое количество аномальных точек с содержаниями золота 0.1–1 г/т. Его размеры составляют 12×7 км. Здесь также развиты граниты Чубачинского массива и блоки архейских гнейсов джигдалинской свиты. Фиксируются аномальные ореолы серебра, золота, свинца по данным литохимических поисков (по донным отложениям) масштаба 1:200 000 [1, 4], но их интенсивность почти на порядок уступает таковой на рудном поле Ключ. Данная площадь пространственно удалена от минимума поля силы тяжести. Поисковые работы проводились здесь в небольших объемах только на рудопроявлениях Сивакан, Ерничное. Перспективы этого поля выглядят слабее по сравнению с двумя рассмотренными выше.

Дополнительно необходимо обратить внимание на восточную границу минимума поля силы тяжести. Здесь не известно проявлений золота, есть только отдельные геохимические аномалии, но южный отрезок этой границы может оказаться достаточно перспективным для поисков месторождений коренного золота.

ДЕТАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Непосредственно Бамское золоторудное месторождение также характеризуется рядом особенностей

геофизических полей, которые подчеркивают условия локализации золотой минерализации.

Геологическая характеристика месторождения рассматривались в ряде работ [1, 6] и нескольких производственных отчетах. Ниже остановимся лишь на самых общих характеристиках оруденения, необходимых для понимания особенностей физических полей.

Месторождение представлено серией рудных тел (около 20), большая часть которых выходит на поверхность. Золоторудная минерализация приурочена к жильно-прожилковым зонам кварц-карбонат-сульфидного состава. Рудные тела объединяются в Главную рудоносную зону (ГРЗ) субширотной ориентировки протяженностью около 3.5 км, которая локализуется в гранитах Чубачинского массива и вытягивается вдоль контакта с блоком архейских пород, расположенным южнее. На контакте с ним в гранитах развита целая серия разломов, которые собственно и контролируют ГРЗ. Основной разлом в этой зоне получил название Чульбангринского надвига. Он, как и большинство остальных разломов, падает на юг под блок архейских пород под углом 33–45°. Также погружаются на юг и юго-восток рудные тела месторождения.

Геофизические поля для месторождения приведены на рис. 5.

ГРЗ месторождения вытягивается вдоль контрастной геоэлектрической границы, разделяющей два блока, различных по уровню электрического сопротивления пород (рис. 5 А). Южный блок характеризуется высокими значениями этого параметра – от 3000 до 15000 ом·м, иногда – более, северный – низкими, от 500 до 2500–3000 ом·м. Породы северного блока представлены интенсивно трещиноватыми и гидротермально-измененными гранитами, в которых развиты минерализованные зоны. Южный блок в основном отвечает аллохтону архейских пород (гнейсы, диориты), практически не затронутых процессами метасоматоза и имеющих высокое электрическое сопротивление, а также в некоторых случаях – интенсивно окварцованным гранитам, примыкающим к архейским породам и прислеживающимся вдоль контакта на глубину. Мощность последних невелика, развиты они не повсеместно, но отличить их по уровню сопротивления от метаморфических пород практически невозможно. Характерно, что рудные тела в этом случае располагаются в нижней части зоны повышенного сопротивления или под ней. На рис. 6 приведен геоэлектрический разрез, построенный автором по результатам ВЭЗ по одной из буровых линий, пересекающих Бамское месторождение. Шаг ВЭЗ по профилю – 50 м. Инверсия выполнена программой Zon-dRes2D [15]. Достаточно отчетливо видны пологое падение контрастной геоэлектрической границы, низ-

коомная зона под ней, отвечающая области развития трещиноватых и измененных пород. Известные рудные тела следуют вдоль этой границы, погружаясь на юг. Это позволяет предполагать экранирующую роль высокоомных пород для гидротермальных растворов на этапе рудообразования. Подобное предположение высказывалось и ранее на основе анализа геологических материалов [6].

Внутреннее строение блока с пониженным сопротивлением также неоднородно. В пределах месторождения отмечаются линейные или дугообразные зоны аномально низкого (менее 1000 ом·м) сопротивления протяженностью до 1–1.5 км и шириной до 100, иногда более метров. Они фиксируют осевые части крупных разломов, в том числе и пологих. Рудоносные зоны, как правило, расположены в непосредственной близости от них, но сами в ряде случаев отличаются небольшим повышением сопротивления. Также незначительное повышение сопротивления может быть связано с останцами гнейсов в гранитах.

Таким образом, отметим, что месторождение расположено в области пониженного электрического сопротивления, сопряженной с блоком высокого электрического сопротивления (размером до десятков квадратных километров), где наблюдается зона контрастного перепада этого параметра (несколько тысяч ом·м), проявленная на протяжении нескольких километров. Рудоносные зоны располагаются вблизи (на удалении до первых сотен метров) от данной контрастной геоэлектрической границы и следуют за ней по простиранию и падению.

Поляризуемость изучена для меньшей площади, чем электрическое сопротивление, но основные закономерности можно выявить (рис. 5 В). В целом минерализованная зона отмечается слабым повышением поляризуемости. Выходы рудных тел попадают в основном в краевую часть повышения, на границу с расположенной севернее областью пониженных значений данного параметра. Максимальные же значения поляризуемости несколько смещены к югу от выходов рудных тел на поверхность и соответствуют уровню глубин продуктивной минерализации в среднем в первые десятки метров. Это определяется глубиной профилирования при практически небольшой зоне окисления на месторождении. Повышение поляризуемости связано с наличием сульфидов в рудах месторождения и вмещающих метасоматитах. Данными по распределению поляризуемости на больших глубинах автор не располагает, но наиболее вероятно, что повышение данного параметра для минерализованных пород будет прослеживаться и глубже.

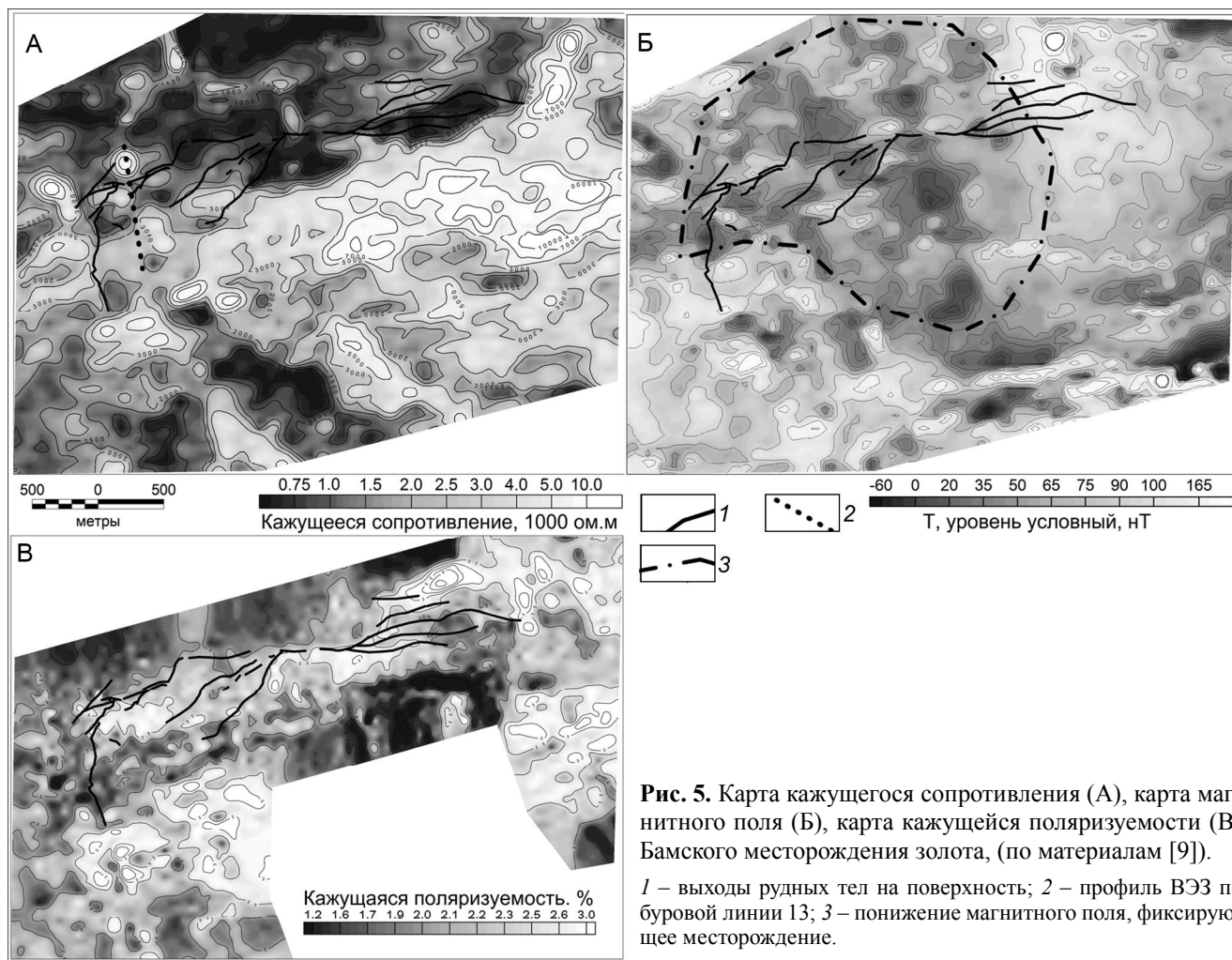


Рис. 5. Карта кажущегося сопротивления (А), карта магнитного поля (Б), карта кажущейся поляризуемости (В) Бамского месторождения золота, (по материалам [9]).

1 – выходы рудных тел на поверхность; 2 – профиль ВЭЗ по буровой линии 13; 3 – понижение магнитного поля, фиксирующее месторождение.

Вместе с тем существует ряд других источников аномалий поляризуемости, с которыми не связана золотоносность. Это, прежде всего, области интенсивной сульфидизации, характерные для интрузий джелиндаканского комплекса в пределах рудного узла (очевидно сульфидизация дорудного этапа). Аномалии поляризуемости в некоторых случаях фиксируют метаморфические породы джигдалинской свиты, ряд аномалий может быть связан с глинистыми изменениями в зонах разломов. Это несколько ограничивает возможности метода ВП как прямого поискового и требует предварительного комплексного анализа выявляемых повышений.

Магнитное поле на площади, включающей месторождение, имеет сложный характер и к югу от него сильно дифференцировано. В значительной степени это определяется отдельными штоками и дайками, создающими контрастные магнитные аномалии, трассирующие фрагменты радиальных и кольцевых разломов. Выход на поверхность ГРЗ в магнитном поле определенно не выражен, поскольку магнитная

восприимчивость гидротермально-измененных пород хоть и уменьшается, но на фоне слабомагнитных гранитов Чубачинского массива ярких аномалий не наблюдается. Однако можно сделать важный вывод, что месторождение в целом, понимая под этим рудные тела, минерализованные зоны и окружающие их гидротермально-измененные породы, отмечается слабым понижением магнитного поля интенсивностью в несколько десятков наноТесл (рис. 5 Б).

Наряду с фрагментами дуговых разломов в пределах месторождения отмечается секториальная зональность. Системой северо-западных и субмеридиональных линейных границ магнитное поле месторождения делится на ряд относительно узких участков (до 1.2 км) с разным его уровнем, что определяется разной степенью их насыщенности магматическими телами или разной глубиной до нескрытой интрузии. Отмечаются «амагматичные» полосы с низким магнитным полем, чередующиеся примерно с такими же по размерам полосовыми его повышениями, где на поверхности вскрываются штоки гранодиоритов.

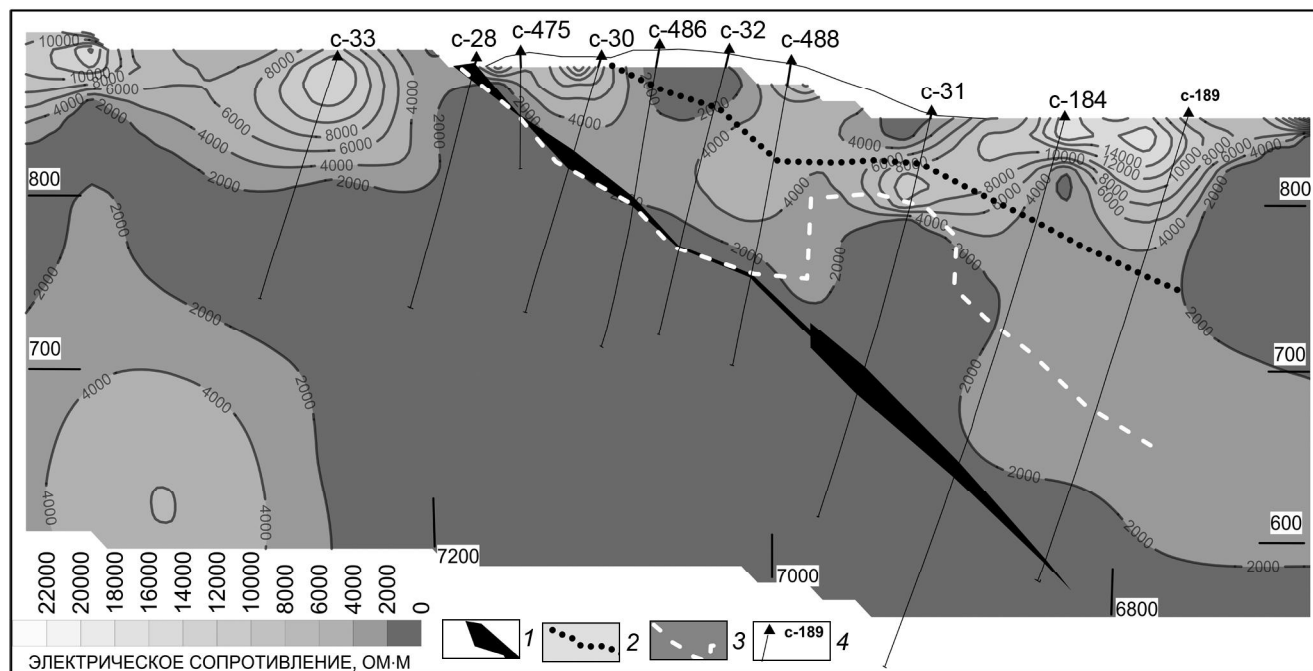


Рис. 6. Геоэлектрический разрез по буровой линии 13 Бамского месторождения (по материалам ООО ГРК «Апсакан», 2003 г.).

1 – рудное тело; 2 – нижняя граница распространения архейских метаморфических пород; 3 – нижняя граница интенсивного окварцевания; 4 – скважина и ее номер.

Разделяющие их линейные границы можно интерпретировать как радиальные разломы. Представляется, что такие поперечные к минерализованной зоне разломы могут играть определенную роль в локализации оруденения, но на сегодняшний день эта возможность никак не оценена, поскольку ориентировка буровых профилей практически им (разломам) параллельна.

ВЫВОДЫ

В результате выполненной работы получены геофизические модели Апсаканского золоторудного узла и месторождения золота Бамского и дана оценка возможности использования геофизических признаков при прогнозировании и поисках золотого оруденения.

Золоторудный узел локализуется в блоке земной коры с длительным проявлением магматизма и постмагматических процессов мезозойского возраста, в непосредственной близости от крупного сквозькового разлома. Золоторудная минерализация пространственно тяготеет к центру проявления наиболее поздних магматических процессов, вокруг которого концентрировалась длительная гидротермальная активность, что привело к масштабному проявлению зон гидротермального изменения пород и локализации золотого оруденения. Проявление магматических и постмагматических процессов обусловило

появление ряда особенностей строения земной коры на разных глубинных уровнях в виде интрузий, разломов, ареалов метасоматически измененных пород, морфологических особенностей отдельных границ в земной коре. Эти неоднородности земной коры в той или иной мере фиксируются в геофизических полях и проанализированы в настоящей статье.

Особенности земной коры, выделяемые на региональном и среднемасштабном уровнях, определяют возможность появления гидротермального золоторудного оруденения, а физические неоднородности самых верхних частей земной коры, изучаемые геофизическими съемками детального масштаба, картируют области проявления гидротермальных процессов, где возможно обнаружение золоторудных концентраций, а также обстановки, благоприятные для этого.

Общая схема использования геофизических материалов для последовательного прогнозирования и поисков месторождений золота должна состоять из следующих этапов:

1. Выделение крупных площадей ранга золоторудных узлов на основе анализа геофизических полей и глубинного строения земной коры.
2. Выделение потенциальных золоторудных полей на основе изучения неоднородностей верхней части земной коры.

3. Выделение участков, отвечающих по набору признаков потенциальным золоторудным месторождениям.

Рассмотренные в статье особенности геофизических полей разного масштаба, характерные для золотоносных площадей Апсаканского узла наиболее эффективно могут применяться в пределах Становой области. При этом региональные и среднемасштабные особенности в равной мере применимы и для прогнозирования эпitherмального золотого оруденения.

Из региональных и среднемасштабных признаков наиболее важными являются следующие.

1. Зоны повышенных значений горизонтального градиента поля силы тяжести регионального масштаба (в первую очередь Южно-Становая гравитационная ступень) и области их пересечения с поперечными к ним элементами геофизических полей

2. Понижения поля силы тяжести размером до первых тысяч квадратных километров, совпадающие полностью или частично с понижениями магнитного поля. Наиболее перспективны их краевые части.

3. Положительные магнитные аномалии, обусловленные интрузиями джелиндаканского и аналогичных ему комплексов размерами в первые сотни квадратных километров. Следует ожидать локализации золотой минерализации в краевых частях подобных структур, тогда как центральные части могут быть перспективны на обнаружение оруденения порфирового с золотом типа. Также надо отметить, что вряд ли только кольцевые структуры являются обязательным элементом модели, возможен рудоконтроль и линейными или иной формы магматическими телами.

4. Понижения поля силы тяжести площадью в первые сотни квадратных километров с амплитудой до 5–7 мГл, особенно совмещенные с аномалиями магнитного поля. Отсутствие среднемасштабных гравиметрических съемок в регионе ограничивает использование данного признака, хотя во многих случаях локальные понижения можно наметить уже по гравиметрическим картам масштаба 1:200 000.

При рассмотрении потенциальных золоторудных полей на первый план выступают уже другие факторы, определяющие в первую очередь места наиболее вероятной локализации минерализации.

5. Области пониженного электрического сопротивления пород размерами в квадратные километры.

6. Контрастные протяженные границы электрического сопротивления пород с перепадом в тысячи Ом·м.

7. Понижения магнитного поля, соразмерные с месторождениями (до первых квадратных километров). Контрастность таких аномалий зависит от

магнитной восприимчивости вмещающих месторождение пород: в изначально более магнитных средах аномалии, связанные с уменьшением магнитных свойств пород за счет гидротермальных изменений, могут быть более значительны по амплитуде. Но часто выделение таких аномалий – задача непростая, требующая специального анализа полей.

8. Аномалии высокой вызванной поляризуемости пород. При этом часть из них может быть связана с не золотоносными измененными породами или вызываться причинами, не связанными с минерализацией.

Очевидно, что на всех рассмотренных этапах прогнозирования и поисков месторождений степень локализации перспективных площадей существенно возрастает при совместном использовании с геологическими и геохимическими данными.

Таким образом, проведенная работа позволила выделить, проанализировать и дать геологическую интерпретацию ряду особенностей разномасштабных геофизических полей в пределах месторождения коренного золота Бамского и окружающей территории. Эти особенности могут рассматриваться как признаки золотоносных площадей и использоваться при прогнозировании и поисках месторождений золота в пределах Становой области.

Автор выражает благодарность А.М. Петрищевскому и анонимному рецензенту, замечания и предложения которых существенно улучшили качество представляемой работы. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИТиГ ДВО РАН и финансирования Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект № 15-1-2-030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бамское золоторудное месторождение (геология, минералогия, геохимия). Степанов В. А., Стриха В. Е, Черемисин А. А. и др. // Труды АмурКНИИ. Вып. 1. Владивосток: Дальнаука, 1998. 209 с.
2. Вьюнов Д. Л. Носырев М. Ю. Степанов В. А. Прогнозирование рудных месторождений по геохимическим и геофизическим данным (на примере Верхнего Приамурья) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2007. № 3. С. 2–9.
3. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. Диденко А. Н., Каплун В. Б., Малышев Ю.Ф. и др. // Владивосток: Дальнаука, 2010. 331 с.
4. Данилов А. А. Геохимическая характеристика и зональность золотого оруденения Бамского месторождения Приамурья: Автореф. канд. геол.-минер. наук. Благовещенск, 1998. 24 с.
5. Диденко А. Н., Ефимов А. С., Нелюбов П. А и др. Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: Профиль Сковородино-Томмот // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 10. С. 1583–1599.

6. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
7. Ларин А.М., Котов А.Б. Сальникова Е. Б и др. Мезозойские граниты Чубачинского массива тукурингского комплекса (Джугджуро-Становая складчатая область): новые геохронологические и изотопно-геохимические данные // Петрология. 2001. Т. 9, № 4. С. 442–447.
8. Мельников А. Д., Степанов В. А. Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Ч. 3. Северная часть провинции. Благовещенск: АМГУ, 2015. 256 с.
9. Носырев М.Ю., Варнавский А.В., Громаковский И.Ю. и др. Отчет о научно-исследовательских работах «Прогнозная оценка территории Амурской области на рудное золото путем исследования геофизическими методами глубинного строения золоторудных районов и разработки физико-геологических моделей золоторудных месторождений». Благовещенск: ФГУГП «Амургеология», 2000. 319 с.
10. Носырев М.Ю. Геофизические характеристики и глубинное строение золоторудных районов Верхнего Приамурья // Тезисы докл. Междунар. геофиз. Конф. 300 лет Горно-Геологической службе России. СПб, 2000. С. 278–279.
11. Носырев М. Ю. Геофизические характеристики золоторудных узлов Верхнего Приамурья //Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии: Материалы конф., посвящ. памяти Л. М. Парфенова. Хабаровск, 2007. С. 513–514.
12. Петрук Н. Н. Шилова М. Н., Козлов С. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. Третье поколение. Лист N-51 (Сковородино). Объясн. зап. СПб., 2008.
13. Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Дуан Жуйянь, Чжу Цунь, М.В. Горошко, В.Г. Гурович. Золотоносность юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 6. С. 3–17.
14. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объясн зап к Тектонической карте. 1:1 500 000 / Под редакцией Л.П. Карсакова, Ч. Чжао, М.В. Горошко. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
15. URL: Zond geo.ru

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

M.Yu. Nosyrev

Geophysical characteristics of the Bam gold-ore deposit (Upper Priamurye) and their use for forecasting gold deposits

The study of large-scale geophysical fields is carried out for the Bam gold-ore deposit and the Apsakan gold-bearing knot located in the Amur area. The modeling of gravity and magnetic anomalies is performed for separate profiles. The features of the geophysical fields and the deep structure of the crust typical for different-rank gold-bearing areas are revealed. The possibility of their use for forecasting and exploration of gold deposits in the Stanovoy area of the Aldan-Stanovoy shield is estimated.

***Key words:* gold, deposit, geophysical anomaly, modeling, forecasting, Stanovoy area.**