

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ЗОЛОТЫХ РОССЫПЕЙ  
В МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Хасанов И.М.* – Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан

*Прейс В.К.* – Северо-Восточный государственный университет, Магадан

*Муравьев Л.А.* – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

*Терновский В.А.* – Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан

**Аннотация.** В статье приведены факторы, сдерживающие увеличение объемов золотодобычи, систематизированы перспективные золотоносные площади, предложены новые направления повышения эффективности горных работ, направленных на поиски и разведку россыпных месторождений. Предложен комплекс геофизических исследований для решения задач, возникающих при поисках и разведке россыпных месторождений золота различных морфогенетических типов, который в зависимости от решаемых задач может включать в себя георадарное зондирование, электропрофилирование, электротондирование и магнитометрические измерения.

*Россыпь, золото, георадар, электроразведка, магнитная съемка, Магаданская область.*

**GEOPHYSICAL METHODS APPLICATIONS PERSPECTIVES  
IN GOLD PLACERS PROSPECTING AND EXPLORATION  
IN THE MAGADAN REGION**

*Khasanov I.M.* – North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of Far East Branch RAS, Magadan

*Preis V.K.* – North-East State University, Magadan

*Muraviev L.A.* – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

*Ternovskiy V.A.* – North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of Far East Branch RAS, Magadan

**Abstract.** We discuss factors given that constraining the gold production increasing, systematize gold-promising area, and offer new ways of mining activities efficiency increasing aimed at prospecting and exploration of placer deposits. We propose the complex of geophysical investigations to solve problems arising from prospecting gold deposits of various morphogenetic types. Depending on the tasks, it may include georadar sensing, electric profiling, electric sounding and magnetometric survey. Development work carried out on placer of the river Debin and allowed to estimate thickness and morphology of deposit, mapping of frozen zones, location of placer.

*Placer, gold, GPR, electric profiling, magnetometric survey, Magadan region.*

**Введение**

Анализ развития россыпной золотодобычи в Магаданской области показывает, что все последние годы количество золота, добываемого из россыпей, держится на уровне 60–65 % от общей добычи. Растет россыпная золотодобыча в Иркутской области, в Якутии и других регионах. Есть несколько путей повышения уровня россыпной золотодобычи. Основной из них – расширение сырьевой базы, и эти возможности еще весьма значительны.

В старых приисковых районах возможно выявление новых пластовых россыпей в долинах рек и ручьев низких порядков (ближе к истокам), на склонах и водоразделах, во впадинах. Необходима переоценка выявленных месторождений в речных долинах высоких порядков. Следует более полно осваивать потери, вызванные недостатками предшествующей разведки и технологий разработки. В новых районах возможно обнаружение пластовых россыпей и не только погребенных. Все это требует

оптимизации методики, технологии, техники геологоразведочных работ, законодательной базы.

**Факторы, сдерживающие увеличение объемов золотодобычи в Магаданской области**

Среди факторов, сдерживающих увеличение объемов добычи, – отсутствие поискового задела за пределами основных районов золотодобычи. Сейчас недропользователи на аукционе часто приобретают лицензии либо на недоразведанные месторождения, либо на объекты с прогнозными ресурсами и самостоятельно выполняют геологоразведочные работы в пределах лицензии. Крупные предприятия способны делать это своим разведочным подразделением, но средним и малым это не всегда по силам. Для поисков новых россыпей в освоенных районах, тем более в новых, надо создавать специализированные горно-геологические предприятия, которые выполняли бы эти работы с привлечением средств федерального бюджета.

Значительное повышение уровня золотодобычи может быть достигнуто при условии увеличения прогнозных ресурсов и запасов россыпного золота в новых месторождениях и правильной оценки количества и, главное, качества техногенных ресурсов. Для этого во всех случаях необходим учет значительных генетических различий между видами аллювиальных россыпей и зачастую большой сложности россыпных месторождений, которые могут состоять из россыпей разных видов. Поэтому необходимо изменить как методику геологоразведочных работ на перспективных на россыпи площадях, так и методы и направления оценки техногенных россыпей.

В Магаданской области немало золоторудных районов и узлов, где россыпная золотоносность слабо изучена. Проведено лишь шлиховое опробование при геологических съемках масштаба 1:200000, в лучшем случае 1:50000. Такие участки есть в пределах Приколымского антиклинория, Омолонского массива, Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Золотое оруденение там представлено в основном зо-

лотосеребряной и золото-сульфидно-кварцевой формациями с преимущественно мелким, весьма мелким и тонким золотом, которые, по мнению многих исследователей, имеют низкий россыпеобразующий потенциал. Но именно такое золото характерно для многих россыпей Амурской области, Якутии, Южной Америки. Да и в пределах отмеченных выше районов известны подобные россыпи с запасами золота в сотни килограмм (руч. Пепенвеем, Надежда – на Чукотке, Куранах – в Якутии, Нанмандыканский узел – в Магаданской области).

Перспективные золотоносные площади (узлы) авторы разделяют на три группы:

1) ранее выявленные единичные мелкие промышленные россыпи и россыпные проявления;

2) известные россыпные проявления и многочисленные рудопроявления золота, но россыпи не установлены;

3) потенциальные узлы, где известно большое количество золоторудных проявлений, но россыпная золотоносность не выявлена.

При анализе фондовых материалов авторами выделено на территории области около 30 таких площадей. Общим недостатком большинства этих районов является их трудная доступность. Прогнозные ресурсы золота в незатронутых отработкой пластовых россыпях мы оцениваем по категории  $P_2$ : в Яно-Колымской провинции – 500 т, на Северо-Востоке России в целом – до 3 000 т.

Отсутствие в золоторудных районах выявленных россыпных проявлений или их малая распространенность может быть вызвано низким качеством шлихового опробования из-за неблагоприятных условий отбора проб, неадекватной методикой его проведения и интерпретации данных. Шлиховое опробование не является прямым, а лишь косвенным методом обнаружения пластовых россыпей. Некоторые их виды не связаны со шлиховыми потоками, другие слабо связаны или (наиболее древние) могут быть вообще не связаны и со шлиховыми ореолами. Рекомендуемая сейчас обобщенная для всех аллювиальных

россыпей методика их более детальных поисков с помощью шурфов или буровых скважин оказывается неэффективной для россыпей ряда видов, особенно – в больших долинах. Необходима новая методика, которая должна быть дифференцированной для каждого вида россыпи. Только при этом условии, возможно ее дальнейшее совершенствование и получение надежных результатов. То же относится к разведке и оценке запасов россыпей.

### ***Геофизический комплекс для малоглубинных исследований россыпных месторождений***

Одним из путей совершенствования горно-геологических работ на россыпи является более широкое применение геофизических исследований, роль которых в настоящее время явно недостаточна. Наиболее ценные данные геофизика может дать при проектировании и выполнении поисковых работ. Основными задачами геофизических исследований при поисках россыпных месторождений золота должны быть:

- определение морфологии границы рыхлых отложений и коренных пород, выделение погребенных ложков и палеорусел;
- определение мощности рыхлых четвертичных отложений, расчленение разреза рыхлых отложений на отдельные горизонты, которые характеризуются различным литологическим и гранулометрическим составом, что дает основание для расчета объемов буровых или горных работ;
- расчленение рыхлых четвертичных отложений, выделение пластов глин или глинистых слоев, которые могут быть «ложными плотиками» висячих пластов;
- выделение обводненных зон дробления в плотике россыпи;
- выделение в плане и разрезе участков многолетнемерзлых пород, выделение надмерзлотных, межмерзлотных, подмерзлотных и сквозных таликовых зон среди сплошной мерзлоты;
- определение планового положения россыпной залежи, которое возможно благодаря повышенным концентрациям в россыпи ферромагнитных и парамагнитных минералов спутников золота.

Для решения вышеперечисленных задач предложен комплекс геофизических исследований в пределах россыпных месторождений центрально-колымских районов, включающий в себя георадарное зондирование, электропрофилеирование, электрозондирование и микромагнитную съемку.

В процессе выполнения работ установлено, что наиболее эффективным (по соотношению производительности и затрат) видом электроразведочных работ при решении задач, связанных с оценкой мощности рыхлых отложений и определения морфологии рельефа жесткого основания, является *георадарное зондирование*.

Принцип георадиолокационного зондирования основан на излучении сверхширокополосных импульсов электромагнитных волн метрового и дециметрового диапазона и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, которая имеет различные электрофизические свойства. Георадиолокация основана на том, что различные геологические породы отличаются по диэлектрической проницаемости и проводимости. Изменения этих свойств приводят к частичному отражению зондирующего сигнала, при этом в зависимости от величин диэлектрической проницаемости и проводимости часть энергии сигнала отражается, фиксируя положение границы, а часть проникает глубже и отражается от нижележащих границ. На поверхности с помощью передатчика и антенны генерируется электромагнитный импульс. Там же отдельной приемной антенной фиксируется отклик среды – совокупность волн, отличающихся друг от друга временами пробега, интенсивностью и формой. В результате достаточно уверенно выделяется граница «рыхлые отложения-коренные породы». При площадном варианте исследований становится возможным плановое определение особенностей строения перекрытой поверхности коренных пород (рельеф плотика): палеорусел, ложков и т. д., существенным образом влияющих на формирование россыпи.

*Электропрофилеированием* решаются задачи выделения в плане участков распро-

странения многолетнемерзлых пород, сквозных таликовых и обводненных зон (Хасанов, Муравьев, 2013). *Электротомографией* в модификации электротомографии устанавливаются параметры распространения многолетнемерзлых пород, а также разноранговых (сквозных, надмерзлотных, межмерзлотных, подмерзлотных) таликовых зон в разрезе. Основной особенностью примененной методики является достаточно частый шаг наблюдений по профилю, арифметический шаг увеличения разносов, равный или кратный расстоянию между точками измерения на профиле, соответствие точек наблюдения точкам расположения питающих электродов. Подобная технология, получившая за рубежом название Electrical Tomography (Электрическая Томография), у нас в стране известна как Сплошные Электрические Зондирования (СЭЗ).

Картирование россыпной залежи, выявление положения в плане отдельных наиболее перспективных зон возможно с помощью высокоточной детальной *магнитометрической съемки* (Муравьев, 2007). Золотоносные россыпные залежи имеют в своем составе парамагнитные минералы гематит, ильменит и в очень небольших количествах ферромагнитный магнетит. Ферромагнитные и парамагнитные минералы спутники золота имеют высокую плотность, отлагаются вместе с ним в россыпи и определяют аномальное магнитное поле над ней (Шило, 2002). Поэтому магнитометрические исследования с использованием высокоточных магнитометров-

градиентометров позволяют выявить участки концентраций тяжелой фракции и, соответственно, золота в рыхлых отложениях потенциально золотоносных долин. При относительно небольших мощностях рыхлых отложений в результате можно оценить геометрические параметры ожидаемой россыпи.

#### **Пример применения комплексных геофизических работ**

Опытные геофизические работы были проведены на нескольких полигонах в Магаданской области, где планируется промышленная добыча россыпного золота. Один полигон расположен в русле р. Оротукан и два – в среднем течении р. Дебин.

Георадарное профилирование выполнялось отдельными профилями по всей исследуемой территории.

Георадар ЛОЗА-Н1 с приемо-передающими антеннами перемещается вдоль профиля (рис. 1). Оптимальными размерами антенн при изучении разреза в имеющихся условиях являются три метра. Пространственный шаг измерений по профилю составил 50 см. Георадарные данные, полученные при прохождении профиля, представляют собой временной разрез структуры грунта. Обработка выполняется в программном обеспечении Krot\_1304. Выделение границ геологических горизонтов осуществляется с помощью процедуры обнаружения минимумов и максимумов сигнала. Абсолютные максимумы или минимумы амплитуды сигнала принимаются за основные отражающие границы. В результате работ на разрезах уверенно определяются граница рыхлых четвертичных и коренных пород, производится расчленение толщи рыхлых отложений, выделяются зоны дробления и обводненности коренных пород и области многолетнемерзлых пород.

Работы методом электротомографии проводились по схеме многоэлектродной установки, с шагом 5 м и максимальным отходом АО = 60 м, что обеспечивает глубинность исследований до 20 м. Для интерпретации использовалась программное обеспечение

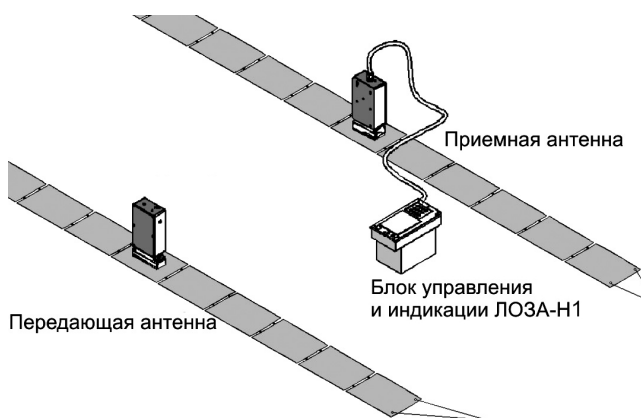


Рис. 1. Схема георадара ЛОЗА-Н1

быстрой 2-D инверсии данных метода сопротивлений «RES2DINV» компании «Geotomo Software». Программа с использованием метода наименьших квадратов автоматически находит двумерную модель среды для данных, полученных с помощью томографических методик. Используется двумерная модель, делящая полупространство среды на прямоугольные блоки. В результате обработки получены геоэлектрические разрезы до глубин 20 м, на которых аномалиями пониженного сопротивления (менее 500 Ом·м) отчетливо выделяются сквозные и надмерзлотные таликовые зоны.

Электропрофилирование проводилось симметричной гальванической установкой с размерами А20М5N20В, глубинность исследований составляла 5–10 м. Измерение параметра сопротивления производилось аппаратным комплексом МЭРИ-24 и АСТРА-100 (рис. 2, цветная вкладка) на частоте 2,88 Гц. Ток в питающей линии изменялся от 1 до 5 мА, величина регистрируемого сигнала в приемной линии колебалась в диапазоне от 0,5 до 100 мВ. Профиля рядовой съемки располагались через 25–30 м, измерения проводились с шагом по профилю 5 м. Данный метод позволил решить задачи, связанные с картированием многолетнемерзлых горных пород и таликовых зон в плане.

Магнитометрическая съемка выполнялась с помощью пешеходного оверхаузеровского магнитометра MMPOS-2 (Сапунов и др., 2000). Для более точного определения глубины источников магнитная съемка выполнялась в варианте градиентометрии: датчики магнитометра фиксировались на высоте 1,7 и 3,0 м над поверхностью земли. Регистрировалось значение магнитного поля каждым датчиком и разность между ними. На одном из полигонов съемка проводилась по сети 2×20 м с полной остановкой датчиков магнитометров в каждой точке. На других двух полигонах применялась технология съемки в непрерывном режиме с периодичностью: одно измерение в три секунды – непосредственно во время движения оператора по съемочному маршруту. Топопривязка и навигация

при движении по маршруту выполнялась с помощью навигационного приемника GPS, конструктивно связанного с магнитометром. Расстояние между профилями в этом случае составляло от 20 до 50 м, дистанция между точками измерений – около 2 м. Часть съемочных маршрутов была привязана к существующим на участках разведочным буровым линиям (скважины через 10 м), где была известна мощность рыхлых отложений, мощность залежи и содержание золота в ней. Вариации геомагнитного поля регистрировались аналогичным магнитометром и учитывались с помощью программного обеспечения SURV. Составлены карты аномального магнитного поля, его вертикального градиента, а также по исходному магнитному полю выделены локальные аномалии.

На графиках соотношения результатов магниторазведочных работ с данными бурения и георадарного зондирования видно, что повышенные содержания золота в россыпи уверенно коррелируются с локальными положительными аномалиями магнитного поля, характеризуются высокой дифференциацией градиента аномального магнитного поля и приурочено к локальным понижениям в рельефе поверхности коренных пород (рис. 3, цветная вкладка).

### **Проблемы и перспективы**

Кроме методических и чисто геологических проблем существуют и другие, не менее важные. Обеспечение геологоразведочных работ техникой и персоналом оставляет пока желать лучшего. Обычно для разведки используются 1–2 станка ударно-канатного бурения (УКБ). Подготовка специалистов разведочного УКБ более 30 лет нигде не ведется, и квалификация большинства имеющих очень низкая. Сейчас на этих работах как правило заняты люди, которые специализировались на бурении скважин под сваи для целей строительства. Ко многим объективным недостаткам УКБ, таким образом, добавляется еще и субъективный человеческий фактор. Да и квалифицированных геологов-россыпников тоже остались единицы.

Предприятия не пытаются заменить УКБ более современными методами бурения, хотя отечественная промышленность выпускает универсальные станки с возможностью изменения способа бурения (колонковое, пневмоударное или ударно-канатное) и замены бурового инструмента в процессе проходки. Зарубежные фирмы производят качественное оборудование для виброударного бурения с производительностью, в разы превышающей УКБ. Недропользователям надо постепенно обновлять парк бурового оборудования. В одном из городов Сибирского или Дальневосточного федеральных округов весьма желательно организовать учебно-курсовой центр для подготовки бурильщиков. Услуги такого центра будут, наверняка, востребованы, и он вполне может существовать на основе самоокупаемости.

Все названные выше проблемы касаются в той или иной степени любого региона россыпной золотодобычи, и реализация приведенных прогнозов и выполнение изложенных рекомендаций поможет не только сохранить добычу золота из россыпей на нынешнем уровне, но и увеличить ее и продлить на десятки лет.

#### **Заключение**

Предложен комплекс геофизических исследований для решения задач, возникающих при поисках и разведке россыпных месторождений золота различных морфогенетических типов, который в зависимости от решаемых задач может включать в себя георадарное зондирование, электропрофилирование, электротондирование и магнитометрические измерения. Сопоставление, проведенное по буровым

профилям, позволило установить связь зон повышенного содержания золота с уверенно наблюдаемыми локальными положительными аномалиями магнитного поля от 5 до 25 нТл и его повышенными до 5 нТл/м вертикальными градиентами. Данный комплекс является достаточно оперативным и дешевым и может быть рекомендован перед заданием конкретных границ полигонов отработки россыпи.

#### **Литература**

*Муравьев Л.А.* Возможности высокочувствительных магнитометров POS при проведении геомагнитных съемок // Уральский геофизический вестник. 2007. №1(10). С. 56–60.

*Сапунов В.А., Савельев Д.В., Денисова О.В., Киселев С.Е., Денисов А.Ю., Сабанин А.А.* Современные протонные оверхаузеровские магнитометры: возможности и перспективы в области геологоразведки // Геологической службе России 300 лет. Международная геофизическая конференция: Тез. докл. СПб, 2000. С. 290–292.

*Хасанов И.М., Муравьев Л.А.* Геофизический комплекс при поисках россыпных месторождений золота реки Дебин // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Седьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2013. С. 310–311.

*Шило Н.А.* Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.

К статье Хасанова И.М., Прейса В.К., Муравьева Л.А., Терновского В.А. – «Перспективы применения геофизических методов при поисках и разведке золотых россыпей в Магаданской области»

а



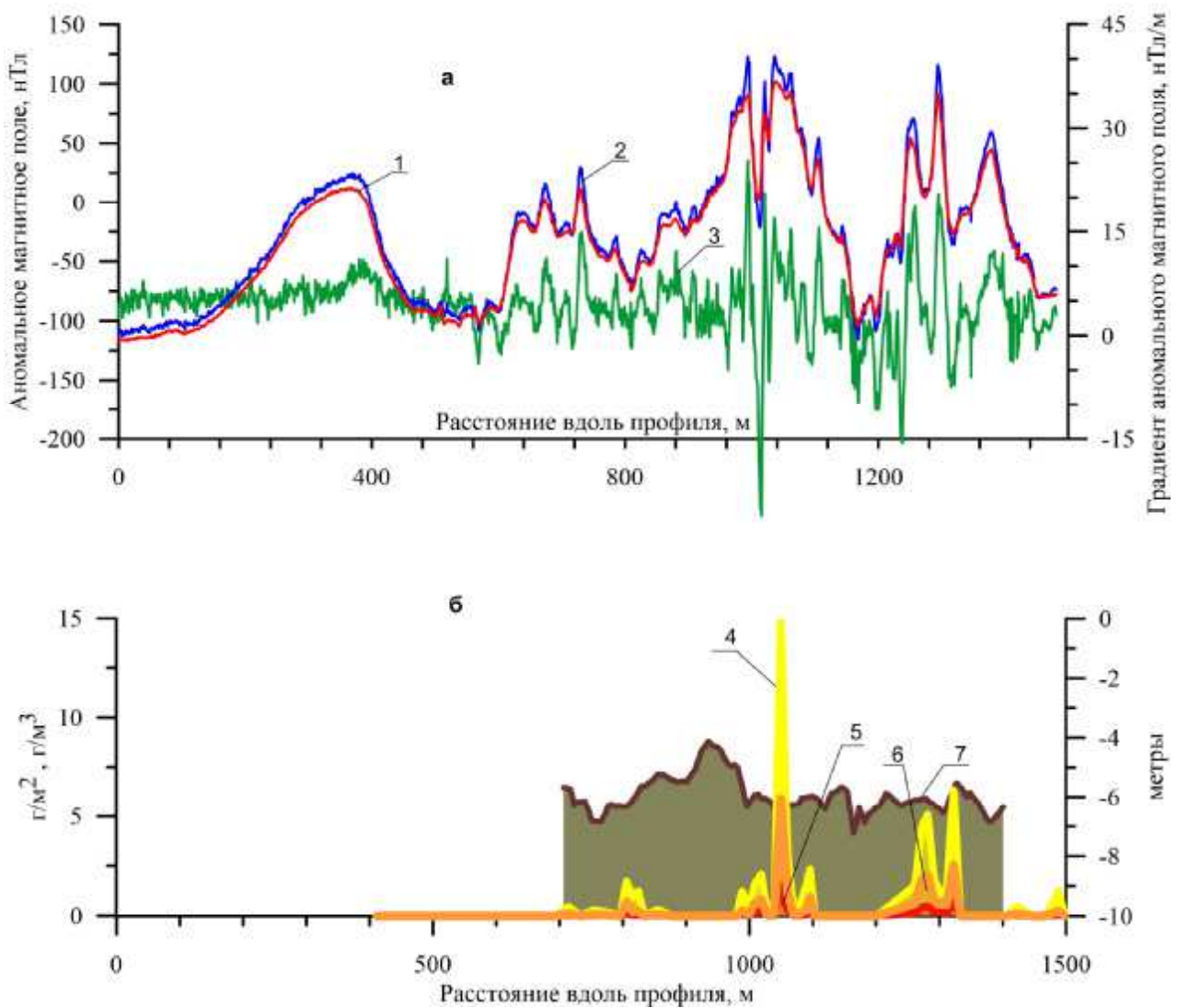
б



**Рис. 2.** Внешний вид аппаратуры МЭРИ-24 (а)  
и АСТРА-100 (б)  
в полевых условиях



К статье Хасанова И.М., Прейса В.К., Муравьева Л.А., Терновского В.А. – «Перспективы применения геофизических методов при поисках и разведке золотых россыпей в Магаданской области»



**Рис. 3.** Сопоставление результатов магниторазведочных работ (а) с данными бурения и георадарного зондирования (б) (участок Эфка, среднее течение реки Дебин):

- 1 – аномальное магнитное поле на высоте 1,7 м, нТл;
- 2 – аномальное магнитное поле на высоте 3,0 м, нТл;
- 3 – градиент аномального магнитного поля, нТл/м;
- 4 – содержание золота, г/м<sup>3</sup>;
- 5 – усредненное содержание на горную массу, г/м<sup>3</sup>;
- 6 – вертикальный запас, г/м<sup>2</sup>;
- 7 – нижняя граница рыхлых отложений по данным георадарного профилирования, м