

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

В.А. Давыдов

*ФГБУН Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, ул. Амундсена 100, г. Екатеринбург, 620016;
e-mail: davyde@yandex.ru*

Поступила в редакцию 22 марта 2020 г.

В статье описываются результаты применения геофизических методов при изучении россыпей различных генетических типов Хабаровского края. Основные методы исследований – вертикальные электрические и дистанционные индукционные зондирования. Геофизические исследования целиковых россыпей проводились по увалу речных долин, на водоразделах и небольших ручьях Турчиканского рудно-россыпного узла. Главные решаемые задачи – это поиск потенциальных структурных ловушек золота (палеорусел, ложков), определение характера поверхности плотика и мощности рыхлых отложений над ним. Выполненные работы позволяют выделить для данной территории поисковый геофизический признак на россыпное золото – пониженные значения электрического сопротивления в присутствии положительной локальной аномалии магнитного поля. Изучение прибрежно-морской россыпи проводилось на побережье залива Николая (Охотское море). Здесь основное внимание уделялось литологическому расчленению геологического разреза по физическим свойствам. Результаты работ показали сильные отличия в электропроводности коренных пород основания разреза, морских осадков и континентальных отложений. Высокая контрастность пород по электрическим свойствам является хорошим обоснованием применения методов электрометрии. Это подтверждается работами на техногенных месторождениях Верхней Уды и Софийского прииска. На техногенных россыпях индукционными методами изучались горно-геологические факторы, осложняющие дражную добычу, такие как мерзлота и валунистость. По результатам исследований, присутствие валунов или мерзлых пород проявляются на показаниях электроразведки схожим образом – в резком увеличении удельных электрических сопротивлений. Таким образом, любые области аномально высоких значений сопротивлений идентифицируют опасные участки для прохождения драги. Приведенные материалы свидетельствуют о высокой эффективности применения электроразведочных технологий при изучении различных типов россыпных месторождений золота.

Ключевые слова: золото, прибрежно-морская россыпь, техногенное месторождение, индукционная электроразведка, мерзлота, Хабаровский край.

ВВЕДЕНИЕ

Неоднократно возникающие представления об истощении сырьевой базы россыпной золотодобывающей промышленности Дальнего Востока на протяжении полувека опровергаются последующей практикой. За это время в Магаданской области, Якутии и на Чукотке найдено не только много новых месторождений, но и выделены новые богатые россыпные районы. Пополнение источников сырья Северо-Восточного региона ориентировано на дальнейшее обнаружение новых площадей и типов золотого оруденения [9]. В то же время, в Амурской области, Хабаровском крае и Приморье перспективы больше связаны с дальнейшим изучением и освоением традиционных

районов золотодобычи. Показательно, что за последнее десятилетие открытий здесь принципиально новых объектов практически не произошло, но добыча золота сократилась незначительно. В Хабаровском крае наиболее известными и распространенными являются аллювиальные россыпи, приуроченные к пойменным частям долин. Обычная глубина залегания (вскрыши) составляет не более 10 м, глубокие россыпи не являлись объектами поисков и изучены мало. Промышленные террасовые россыпи имеют ограниченное развитие в относительно крупных долинах рек с развитым террасовым комплексом (Софийский и Кербинский россыпные узлы). Небольшие, иногда богатые увальные россыпи известны на приустьевых

участках долин ручьев. Промышленные россыпи на водоразделах не известны, хотя проявления россыпной золотоносности этого типа многочисленны. Доизучение известных россыпных месторождений и проявлений позволяет прогнозировать новые объекты в границах всех известных золотороссыпных узлов и площадей [17].

В результате добычи золота большое количество россыпей перешло в разряд техногенных и целиково-техногенных вследствие эксплуатационных и технологических потерь. В основных районах золотодобычи техногенные россыпи составляют не менее 50 % всех известных россыпей. Количество оставленного металла или потерянного при промывке песков достигает от 10 до 15 и более % от его объема в первичной россыпи [18]. Многие специалисты считают, что значимость вторичной отработки техногенных месторождений в ближайшие годы будет только возрастать.

До сих пор мало внимания уделяется прибрежно-морским россыпям, хотя золотоносность пляжных отложений установлена на побережье Охотского моря практически по всему периметру. На местном шельфе выявлено 7 россыпных месторождений золота, количество проявлений достигает восьми десятков [2]. Богатая пляжная россыпь с содержаниями золота до 100 г/м³ отработана в абразивно-аккумулятивной бухте Няча вблизи п. Аян. Золотоносными являются и отложения прилегающей абразивной платформы. Наиболее перспективным на наличие промышленных прибрежно-морских россыпей считается южное материковое побережье Охотского моря от Удской губы до Амурского лимана. Данный район изучен слабо и неравномерно, поскольку геологические исследования ограничивались уровнем общих поисков.

Таким образом, прирост прогнозных ресурсов россыпного золота юга Дальнего Востока возможен за счет доразведки известных проявлений и мелких месторождений в традиционных районах добычи, промышленной оценки и переоценки техногенных и глубокозалегающих россыпей, а также за счет открытия новых месторождений, в том числе прибрежно-морских. Для этого потребуются проведение более детальных геологоразведочных работ на перспективных объектах. Некоторые оперативные задачи при поиске, разведке и добыче золотоносных россыпей можно решить геофизическими методами. К ним относятся: поиск структурных ловушек металла (палеорусел, ложков), определение рельефа поверхности плотика, литологическое расчленение рыхлых отложений, выявление осложняющих факторов добычи (мерзлота, валунистость). Цель данной работы – показать возможности применения электротометрических

методов геофизических исследований при изучении различных типов россыпных месторождений золота Хабаровского края (рис. 1). Основными задачами являются сопоставление и корреляция геофизических результатов с геологическими данными на контрольных участках с известным строением.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Электротометрические работы проводились по технологии вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и индукционных методов исследований гармоническими электромагнитными полями.

Электротометрия методом ВЭЗ выполнялась с использованием стандартной методики работ [14]. Измерения проводились с помощью генератора ЭРГ-5 и приемника ЭРП-5 комплекта аппаратуры «Березка» (ПГО «Березовгеология», г. Новосибирск) на частоте 4.88 Гц. При работе использовалась симметричная 4-электродная установка Шлюмберже (AMNB) с двухметровой приемной линией. Питающие электроды разносились на расстояние $AB/2$ до 100 м. Камеральная обработка данных заключалась в количественной интерпретации полученных кривых ВЭЗ по программе IPI2Win [5] с определением мощности геоэлектрических слоев и величины их удельных электрических сопротивлений (УЭС).

Индукционная электротометрия. Работы выполнялись методом дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП) и дистанционного индукционного зондирования (ДИЗ) аппаратурой «ДЭМП-СЧ» (НПО «Сибцветметавтоматика», г. Красноярск) в соответствии с действующими рекомендациями [6, 7] по отработанной ранее методике работ [21]. Сущность индукционных методов заключается в генерации первичного электромагнитного поля с помощью источника типа вертикального магнитного диполя и регистрации вторичного поля, вызванного вихревыми токами в земле. Частота возбуждающего электромагнитного поля составляла 80 кГц. Измерялись две ортогональные компоненты переменного магнитного поля – горизонтальная составляющая H_r , направленная на генератор, и вертикальная H_z . Электропрофилирование проводилось на фиксированном разносе между генератором и приемником. При зондировании приемник располагался на точке, а генератор последовательно относился на расстояние от 5 до 80 м по линии профиля с переменным шагом. Кажущееся сопротивление (КС) среды рассчитывалось по рекомендуемой формуле [8] с учетом волнового параметра поля:

$$\rho_k = 2D \cdot f \cdot r^2 \cdot |H_z| / |H_r|,$$

где: f – рабочая частота (Гц); r – расстояние между генератором и приемником (км); D – нормирующий

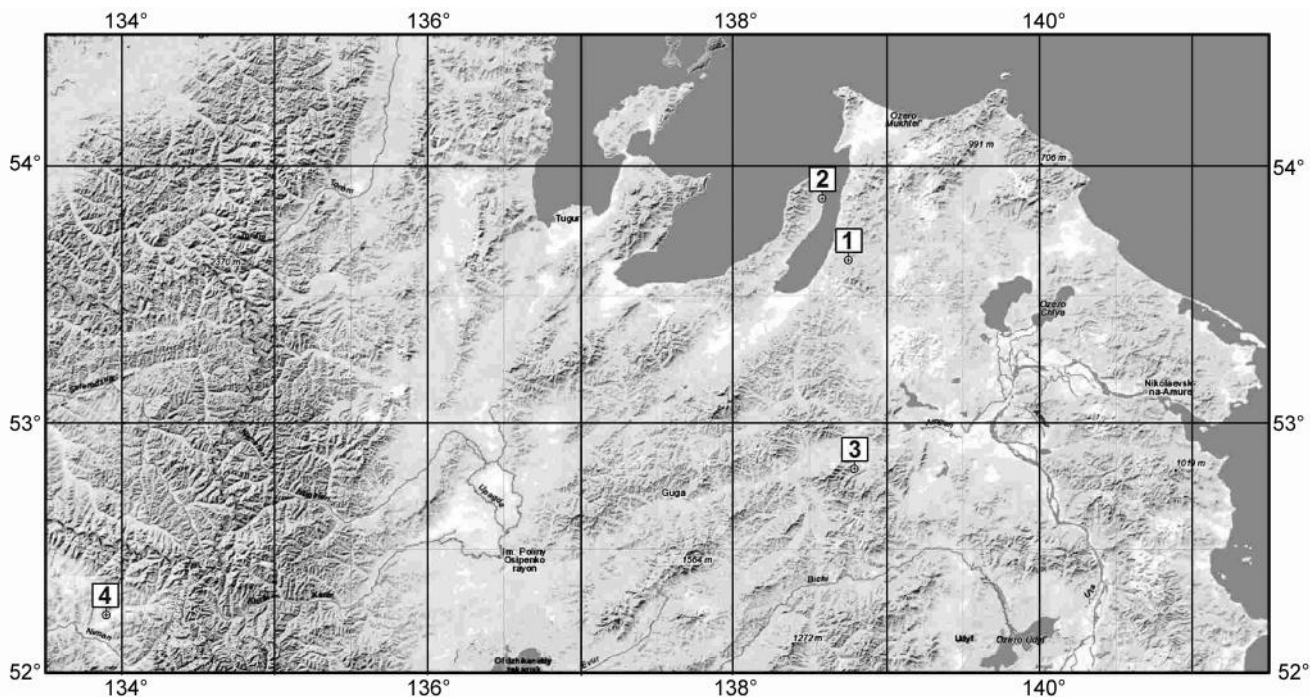


Рис. 1. Обзорная карта мест проведения исследовательских работ на россыпных месторождениях Хабаровского края. 1 – прииск Турчик; 2 – пляж залива Николая; 3 – участок Верхняя Уда; 4 – Софийский прииск.

параметр к низкочастотной асимптотике [11], зависящий от электромагнитного параметра $P = |k|r$, где k – волновое число.

В итоге строились графики или разрезы кажущихся сопротивлений, принимая эффективную глубину исследований, равной четверти разноса ($h = r/4$). Построение качественных разрезов ДИЗ позволяет выявить тенденции изменения электрических свойств в горизонтальном и вертикальном направлении, а также выделить локальные возмущающие объекты среды.

ЦЕЛИКОВЫЕ РОССЫПИ

Россыпь золота по долине ручья Турчик (система оз. Орель) известна с 1946 года. С этого времени проводились постоянные эксплуатационные работы открытыми разрезами, подземными выработками, а затем и на гидравлических полигонах. К настоящему времени пойма практически полностью отработана, поэтому стало актуальным обследование прилегающей территории с целью поиска и разведки россыпей малых и временных водотоков (ложков) по увалу долины, а также определение золотоносности водоразделов.

Турчиканский рудно-россыпной узел соответствует локальной тектоно-магматической структуре, насыщенной штоками и дайкам меловых диоритов,

которые прорывают юрские терригенные отложения. В пределах узла широко развита золото-сульфидно-кварцевая минерализация, приуроченная, как правило, к тектонически ослабленным зонам. Золоторудные тела часто локализуются в узлах пересечения этих разломов. В целом перспективность Турчиканского узла на выявление коренных месторождений золота не велика, но большое промышленное значение имеют россыпи золота, не исключена возможность выявления новых промышленных россыпей [10]. В геологическом строении района работ принимают участие полимиктовые и кварц-полевошпатовые песчаники (J_1), залегающие в основании разреза и слагающие его нижнюю толщу. Верхняя толща (J_2) представлена алеволитами и глинистыми сланцами. Терригенные образования прорваны нижнемеловыми интрузиями (K_2) гранодиоритового и диоритового состава, слагающими ряд массивов. Тектонические нарушения выражены в виде ослабленных зон дробления и трещиноватости, сопровождающихся окварцеванием, пиритизацией и лимонитизацией пород. Золоторудная минерализация тяготеет к гидротермально-измененным породам в узлах пересечения даек и разломов северо-западного простирания с субмеридиональными разрывами. В целом слабо золотоносные породы описанной структуры, по-видимому, послужили источником при формировании россыпей

ближайших рек и ручьев. Четвертичные отложения представляют собой:

- аллювиально-коллювиальные отложения увальной части долины ручья Турчик, состоящие из хорошо окатанных золотоносных галечников с песком;

- делювиально-элювиальные породы на водоразделах и их склонах пестрого состава – дресва, супесь, суглинки, щебень с песчано-глинистым заполнителем;

- современные аллювиальные отложения поймы и надпойменной террасы, представленные плохо окатанным гравийно-галечным материалом с песком.

Общая мощность рыхлых отложений на водоразделах составляет 4–5 м, в долине Турчика возрастает до 6–8 м, в пределах увала достигает 10–15 м [13].

Геофизические работы проводились по ряду профилей на водоразделе в средней части увала и небольших ручьях, впадающих в долину Турчика, а также на вскрытом полигоне под гидромониторную обработку ложковой россыпи. Кроме электроразведки, в качестве дополнительного геофизического метода применялась магниторазведка. В местном шлихе в больших количествах присутствует магнетит, который ассоциирует с россыпным золотом, поэтому зоны концентрации металла могут выделяться магнитными аномалиями. Другими характерными признаками россыпи является увеличение мощности рыхлых отложений и повышенное обводнение [12]. На графиках электропрофилеирования это соответствует зонам с пониженными значениями сопротивления, по присутствию которых были выделены несколько перспективных на золотоносность отрезков поисковых профилей. Детализация выделенных аномалий проводилась с помощью электромагнитных зондирований. Результаты геофизических работ и бурения скважин на одном из таких участков проиллюстрированы на рис. 2. Кровля коренных пород представлена глинистыми сланцами верхней толщи (J_2), характеризующейся повышенным разбросом УЭС в диапазоне 120–380 Ом·м. Сланцы залегают на песчаниках нижней терригенной толщи (J_1), имеющих выдержанные значения удельных электрических сопротивлений порядка 700 Ом·м. На интервале профиля 200–300 м отмечается резкий перепад глубины залегания нижней толщи, что свидетельствует о наличии здесь тектонического нарушения. Выходу разлома под наносы (отметка 300 м) соответствует самая большая мощность рыхлых отложений и положительная магнитная аномалия. Аномалия магнитного поля может быть связана как с минерализацией тектонической зоны, так и с повышенной концентрацией россыпного магнетита. Скорее всего, играют роль оба фактора, поскольку аномалия имеет

довольно высокую амплитуду (до 600 нТл) и сложную форму. Количественная интерпретация магниторазведки не предусматривалась, и она выступает в роли качественного индикатора аномальности разреза. Полученные результаты свидетельствуют о пересечении профилем погребенного русла ручья, протекавшего по ослабленной зоне разлома и перспективном на золото. В ходе геологической заверки, в центре аномалии была пробурена скважина С-47, которая после прохождения песчано-глинистых отложений на глубине 9 м вскрыла 2-метровый гравийно-щебенистый золотоносный пласт.

Сходная ситуация наблюдается по увалу ручья Турчик, приблизительно в километре к северу. В ходе поисковых работ здесь была обнаружена небольшая ложковая россыпь с промышленным содержанием металла, детально исследованная с помощью разведочного бурения. Для ее отработки была произведена расчистка полигона 110×200 м со снятием непродуктивных «торфов». Площадные геофизические работы на полигоне включали дипольное электромагнитное профилирование и магниторазведку. Основная цель съемки состояла в нахождении корреляционных связей электротомических параметров с морфологическими особенностями строения россыпи. В результате сравнения данных ДЭМП и бурения выявлено, что характер распределения кажущегося сопротивления по площади сопоставим с глубиной залегания коренных пород. Если представить данные электропрофилеирования по площади в виде рельефа, то его можно назвать условной поверхностью плотика. На качественных геоэлектрических разрезах дистанционных индукционных зондирований области пониженных сопротивлений соответствуют впадинам, а зоны повышенных КС – поднятиям плотика (рис. 3). Сопоставляя результаты бурения и ДИЗ выявлено, что на разрезе кажущихся сопротивлений поверхности коренных пород приблизительно соответствует изолиния 300 Ом·м. По данным электроразведки, рельеф плотика имеет неровный характер с многочисленными поднятиями и западинами. Последующая отработка полигона подтвердила кавернозный вид плотика, к ложбинам и ямам которого были приурочены повышенные концентрации золота (до 10.5 г/м³). Магнитное поле на участке работ оказалось осложнено спадом в северо-восточном направлении, обусловленном контактом пород, отличающихся по магнитной восприимчивости. Тектонический контакт гранитов, распространенных на востоке участка, и диоритов западной части подтверждается бурением и горными работами. После вычитания региональной составляющей магнитного поля проявились локальные аномалии величиной от 40 до 120 нТл, тяготеющие к зонам

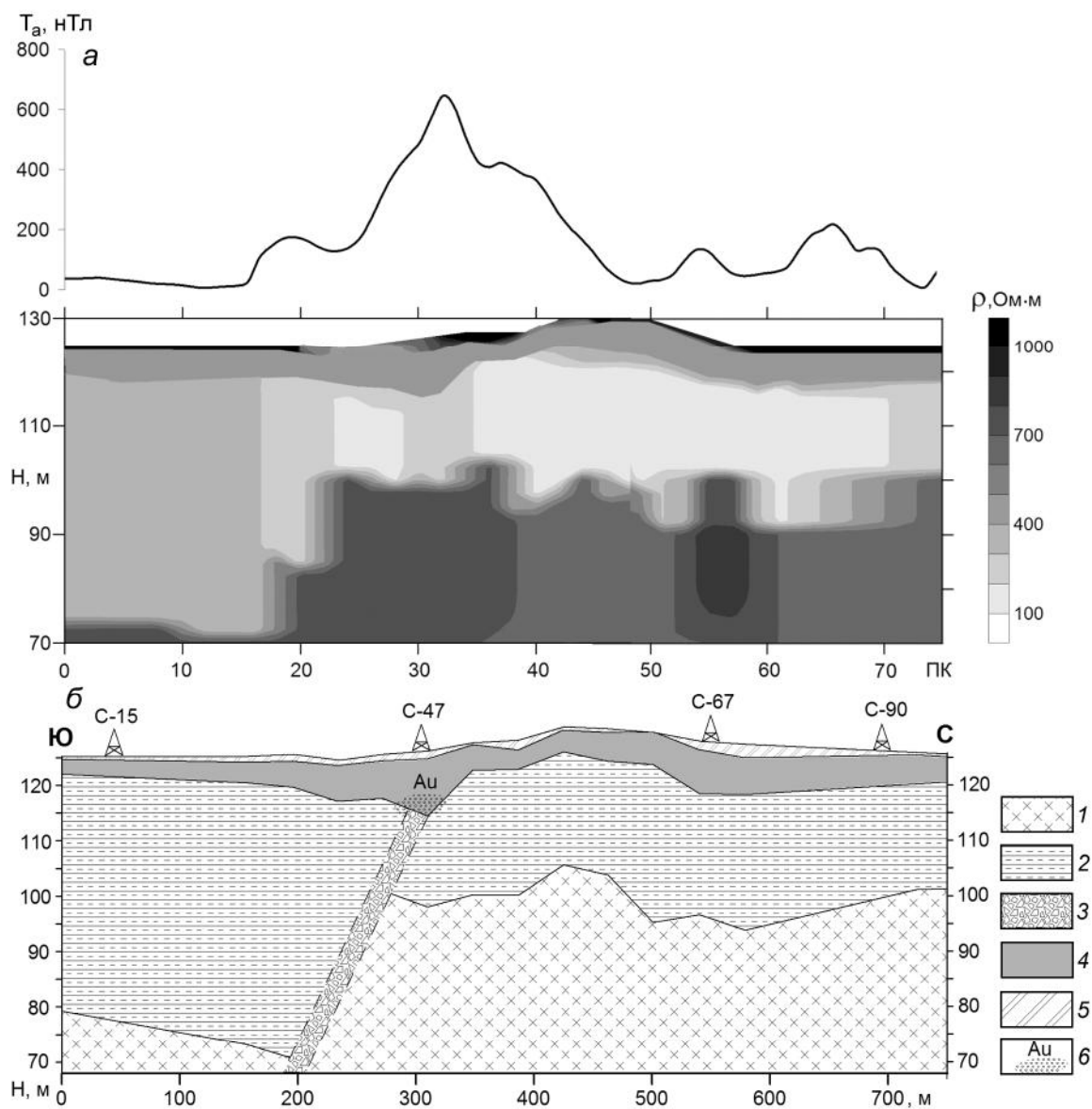


Рис. 2. Результаты работ по увалу руч. Турчик: график аномального магнитного поля T_a и геоэлектрический разрез (а); геологический разрез, построенный по данным бурения и ВЭЗ (б).

1 – песчаники; 2 – глинистые сланцы; 3 – тектоническое нарушение; 4 – аллювиально-коллювиальные отложения; 5 – делювиальные суглинки; 6 – золотосный пласт.

пониженных сопротивлений и коррелируемые с положением золотосного пласта (рис. 3, б). Результаты геофизических работ по увалу Турчика позволяют выделить для данной территории поисковый признак золотосных ловушек – пониженные значения электрического сопротивления, при увеличенной мощности рыхлых отложений. Дополнительным косвенным признаком может служить присутствие положительных локальных аномалий магнитного поля.

Для определения перспектив золотосности водоразделов в советское время проводились поиско-

во-разведочные работы по хребту Мевочан. Буровые линии располагались крайне неравномерно и закладывались, руководствуясь возможностью подъезда и слаборасчлененным рельефом. Результаты опробования по одному из профилей на водоразделе ручьев Турчик и Алакит показали промышленные содержания золота. На соседних буровых линиях золото не обнаружено. По истечении времени было принято решение провести доразведку участка с привлечением геофизических методов. Основной целью геофизических работ ставилось определение направления золо-

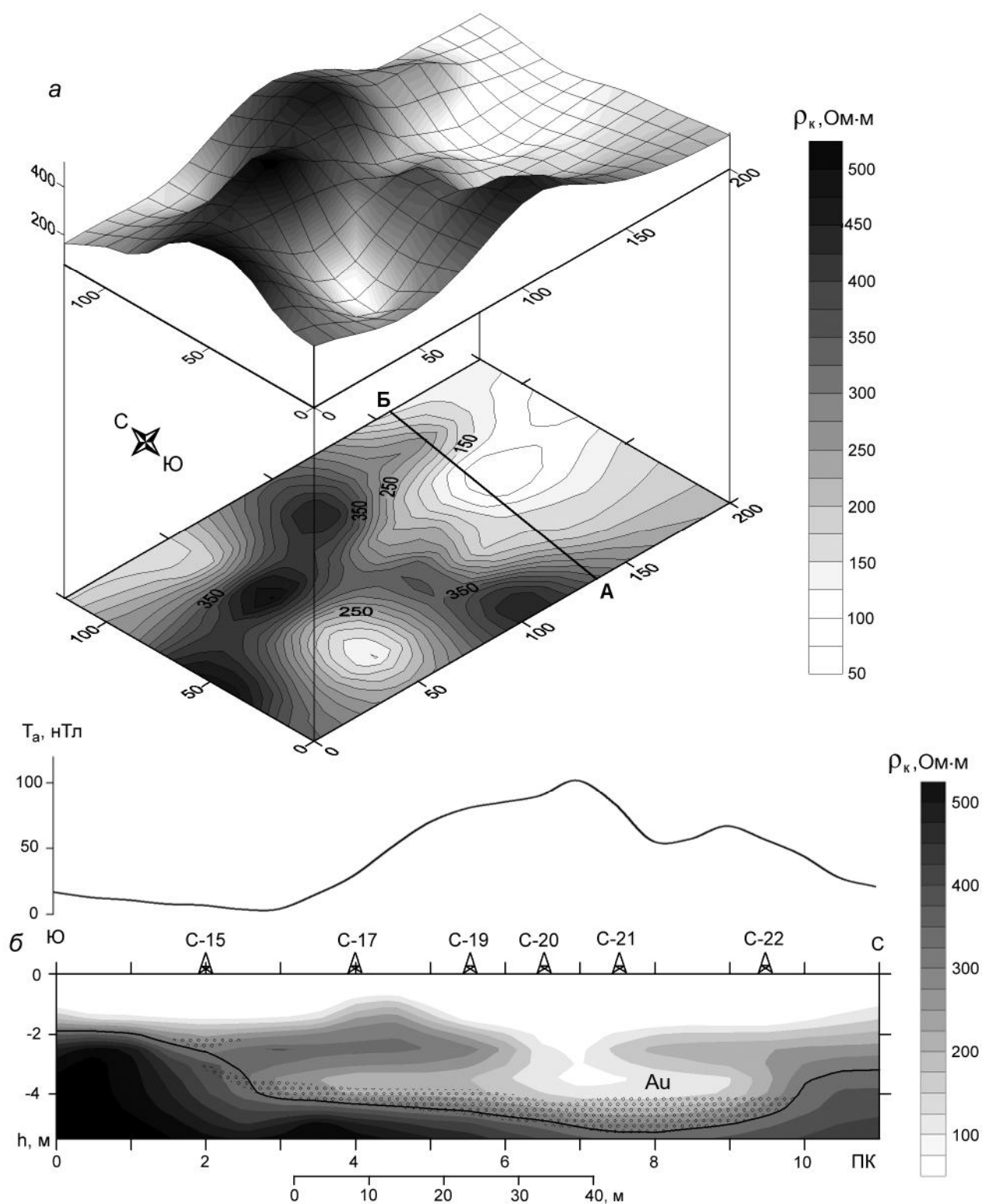


Рис. 3. Результаты геофизических исследований на участке ложковой россыпи, подготовленной для гидравлической отработки (прииск Турчик): рельеф «условной» поверхности плотика – характер распределения кажущегося сопротивления (ρ_k) в плане (а); график аномального магнитного поля T_a и разрез кажущегося сопротивления по линии АБ (б). Жирной линией на разрезе отмечена реальная поверхность плотика по результатам бурения и ДИЗ.

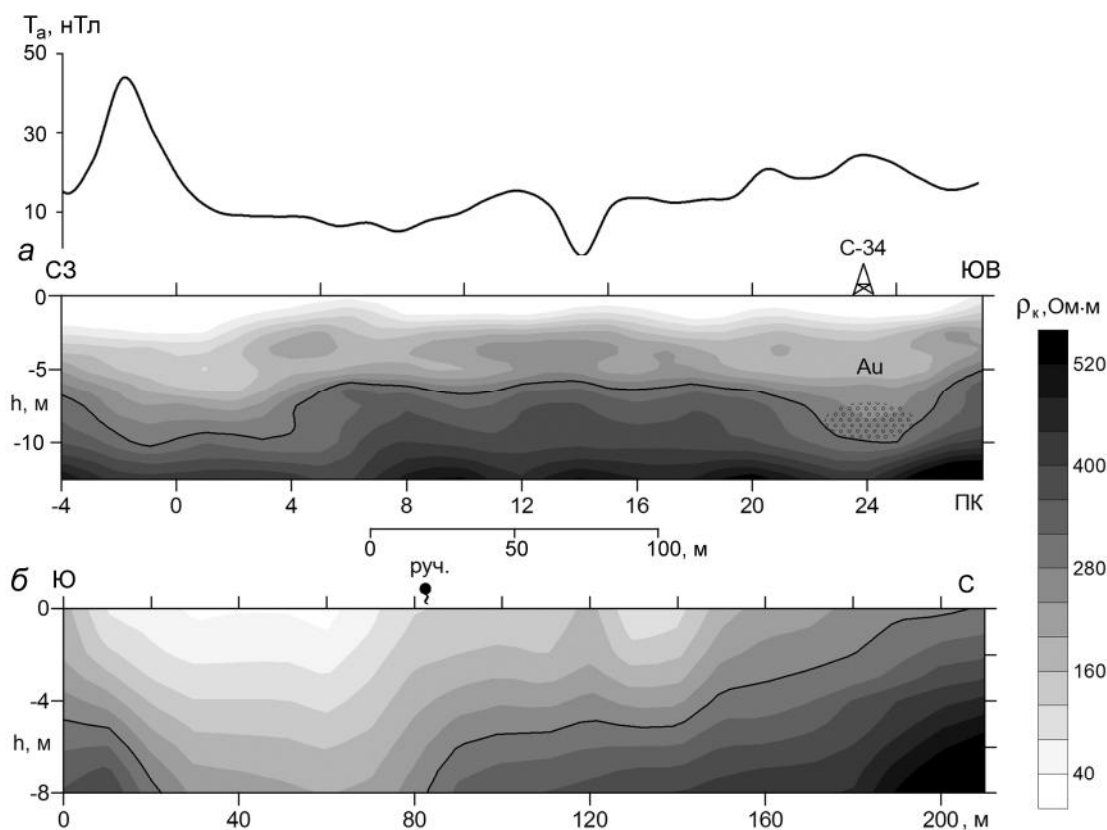


Рис. 4. Результаты геофизических работ на водоразделе ручьев Турчик и Алакит:

a – график аномального магнитного поля T_a и разрез кажущихся сопротивлений ДИЗ в межгорной седловине хребта Мевочан; *б* – разрез КС дистанционных индукционных зондирований в верховьях руч. Когалан.

тоносной струи. Для этого через хребет был пройден поисково-оценочный профиль с участием ДЭМП и магниторазведки. На основании рекогносцировочных работ определен перспективный участок, расположенный в межгорной седловине, на котором были проведены более детальные работы с использованием индукционных зондирований (рис. 4, *a*). На полученном разрезе КС уверенно выделяются две области пониженных сопротивлений: в начале профиля (ПК-4... ПК5) и в конце детализационного участка (ПК22... ПК26). Как и в предыдущих случаях, здесь присутствуют локальные магнитные аномалии, но значительно меньшие по величине (до 40 нТл). Исходя из геологических представлений и руководствуясь предполагаемым направлением золотоносного пласта, разведочное бурение было проведено в юго-восточной части участка. Пробуренная в районе ПК24 скважина С-34 показала при опробовании высокое содержание металла. На северо-западе участка бурение не проводилось, однако по геофизическим данным он является более перспективным, поскольку захватывает более широкую зону пониженных сопротивлений, в присутствии аномалии магнитного поля.

Еще один пример применения электротометрии при поисках потенциальных ловушек золота на малых водотоках представлен на рис. 4, *б*. Ручей Когалан является левым притоком Турчика с сильно врезанной V-образной долиной. Возможности прохождения буровой техники крайне ограничены из-за крутых склонов. Перед геофизикой была поставлена задача оценить, какой борт долины более перспективен в плане обнаружения россыпи. Для этого необходимо было определить приблизительную мощность рыхлых отложений по обе стороны ручья. Пройденный поперек течения профиль дистанционных индукционных зондирований показал, что с северной стороны глубина залегания коренных пород значительно меньше (1–5 м), чем с южной (от 5 м и более). Кроме того, на разрезе кажущихся сопротивлений явно видно, что основной врез долины смещен на 20–30 м к югу от современного положения ручья. Таким образом, результаты электроразведки показали более высокую перспективность обследования южного борта ручья, что и определило дальнейшие действия.

ПРИБРЕЖНО-МОРСКИЕ РОССЫПИ

Возможности геофизических методов изучения прибрежно-морских россыпей будут продемонстрированы на примере пляжной россыпи на восточном побережье полуострова Тохареу (залив Николая, Охотское море). Участок исследований ограничивается береговой линией и распространяется вглубь территории на километр и более. Рельеф представлен пологой равниной, постепенно снижающейся до уровня моря. Берег абразионно-денудационного типа с отвесным клифом до 10 м. Подводный склон под небольшим углом плавно погружается в залив, средняя величина прилива составляет 3 м. В основании разреза находятся юрские песчанники и сланцы (J_2), на них располагаются морские отложения палеоген-неогенового возраста (P_3-N_1). Затем следует терраса раннего кайнозоя Q_p : галечно-глинистые отложения, переслаиваемые морскими илами (голубые глины). Последними в разрезе представлены современные галечные косы и пляжи (Q_n).

В береговых обнажениях клифов преобладают делювиальные и аллювиальные отложения, состоящие из супеси с щебнем, гравием и галькой. Пляжные осадки представлены перебитым песком с галькой, залегающие на «плотике» из голубых глин, алевроитов и слабосцементированных «конгломератов». В результате ранее проведенных поисковых работ была определена золотоносность береговых образований [20]. Последующими разведочными работами была обнаружена прибрежно-морская россыпь золота с промышленным содержанием металла (до 25 г/м³). Золото в основном концентрируется в нижней части пляжных отложений, в слое ожелезненного песка с галькой и гравием на глубине 4–7 м. Для изучения геологического разреза на прибрежной террасе были пробурены несколько разведочных скважин глубиной до 20 м. Они показали, что продуктивный пласт присутствует не везде. Т.к. скважины не достигли коренных пород основания разреза, необходимо было решить вопрос о глубине их залегания, а также уточнить характер осадконакопления на других участках. Основными задачами геофизических работ стало изучение морфологии прибрежно-морских отложений и их литологическое расчленение по физическим свойствам.

Площадные рекогносцировочные работы проводились с помощью магниторазведки и электроразведки методом ДЭМП. Магнитное поле оказалось очень ровным, без аномалий, с небольшими ступенчатыми перепадами до 10 нТл. Электропрофилирование показало, что на возвышенной равнине кажущиеся сопротивления изменяют свои значения в пределах 60–

200 Ом·м, в прибрежной полосе сопротивление падает до 20–40 Ом·м. Площадные геофизические работы позволили выделить две крупные области залегания пород с отличающимися физическими свойствами и характерными ступенчатыми аномалиями на границах разделов. Исходя из геологических представлений, они были сопоставлены двум разновозрастным террасам плейстоценовых отложений (Q_p^1 – Q_p^2). По различию электрических сопротивлений также удалось уточнить участки распространения современных аллювиальных и морских отложений.

Для изучения глубинного строения территории были проведены вертикальные электрические зондирования по широтному профилю, заданному вкрест простирания береговой линии. Результаты ВЭЗ оказались очень информативными и позволили ответить на многие вопросы. Геоэлектрический разрез носит в основном 4-слойный характер и хорошо дифференцирован по удельному электрическому сопротивлению. Все толщи были уверенно выделены и идентифицированы при интерпретации (рис. 5). Коренные породы юры (J_2), залегающие в основании на глубине от 15 до 35 метров, характеризуются удельными электрическими сопротивлениями 1000–3000 Ом·м. В средней части разреза повсеместно выделяется контрастная низкоомная толща (10–25 Ом·м), мощностью до 25 м, соответствующая морским палеоген-неогеновыми отложениями (P_3-N_1). На ней хорошо просматриваются характерные структуры абразионных поверхностей на глубинах +9 м и -6 м от современного уровня океана, что позволяет выделить два раннечетвертичных пляжа (Q_p). Сопротивления пляжных отложений двух уровней отличаются друг от друга. Удельные сопротивления «верхнего» пляжа (Q_p^1) составляют 900–1700 Ом·м, «нижнего» (Q_p^2) – 200–500 Ом·м. Приповерхностный слой мощностью до 2 метров соответствует современным осадкам, сопротивление которых зависит от их происхождения. Приклифовый галечник на точке В-02 имеет высокие значения УЭС – 2500 Ом·м, болотные отложения (В-20 и В-40) характеризуется величинами 100–140 Ом·м, аллювиальные отложения (В-115) – около 1000 Ом·м. Как уже отмечалось, магнитное поле практически не меняется на всем протяжении профиля и повышается на 8 нТл только в пределах «нижнего» плейстоценового пляжа (Q_p^2), что может являться его косвенным индикатором. Именно с этим объектом связана найденная здесь прибрежно-морская россыпь золота.

Для уточнения разреза были проведены детальные электрические зондирования на современном пляже во время отлива (рис. 6). УЭС современных

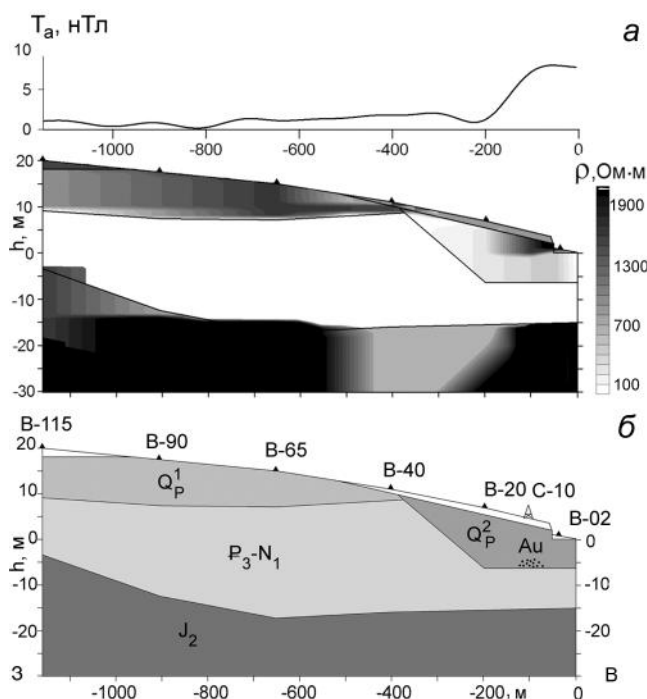


Рис. 5. Результаты работ в прибрежной области полуострова Тохареу (залив Николая, Охотское море): график аномального магнитного поля T_a и геоэлектрический разрез (а); геологический разрез, построенный по данным бурения, горных работ и результатам интерпретации ВЭЗ (б).

По оси абсцисс – расстояние в метрах от современной береговой линии, ось глубин соответствует абсолютным высотным отметкам. В-02...В-115 – точки ВЭЗ, С-10 – разведочная скважина.

пляжных отложений составляют 2400–3000 Ом·м в районе сухой галечной косы и резко снижаются при приближении к воде, достигая 23 Ом·м (влажный песок) на нулевой отметке (В-00) во время отлива. Сопротивление слоя донных осадков, состоящего из алеврита с песком и морских илов, варьирует в пределах 6–8 Ом·м. Верхнечетвертичная толща (Q_P^2) и юрские коренные породы также сильно изменяют свое удельное сопротивление до 8–13 Ом·м при насыщении морской водой на затопляемой во время прилива территории. Относительно неизменными остаются только УЭС палеоген-неогеновых отложений (20–30 Ом·м), сложенных непроницаемыми глинами.

Полученные геоэлектрические разрезы позволяют определить, что прибрежное золото связано с «нижней» пляжной россыпью (с абразионной поверхностью на уровне -6 м), плитком которой служат палеоген-неогеновые отложения. Современная россыпь за счет переыва верхнечетвертичной террасы не формируется, поскольку основная часть золота скон-

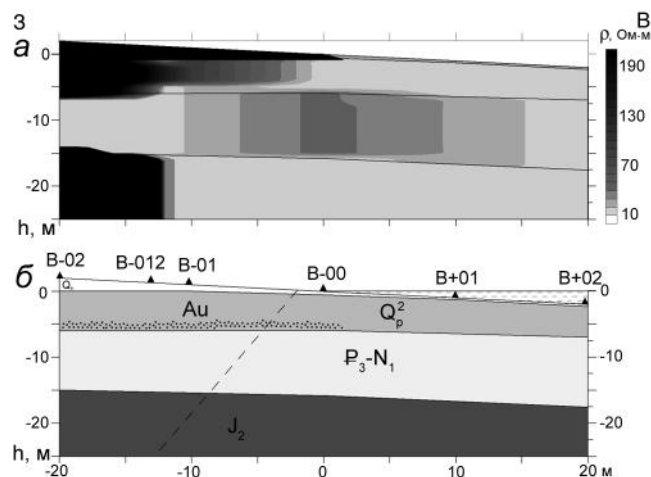


Рис. 6. Геоэлектрический (а) и геологический разрез (б) пляжа на западном побережье залива Николая (Охотское море), по данным ВЭЗ.

Показанный уровень моря соответствует нормальному приливу. Пунктиром выделена предполагаемая граница проникновения морской воды. Оси и условные обозначения, как на рис. 5.

центрирована в приплотиковой области, не подверженной размыву. Этим золотоносные отложения залива Николая отличаются от «классических» прибрежно-морских россыпей. Например, пляжные россыпи юго-западной Камчатки образованы на современном этапе и являются возобновляемыми. Они обязаны переыву золотоносных промежуточных коллекторов, представленных морскими, водно-ледниковыми и палеоаллювиальными образованиями. Максимальные концентрации золота здесь связаны с приклифовыми участками абразионного берега, где развиты золото-содержащие комплексы песков [15]. Сходная с Камчаткой ситуация наблюдается на полуострове Сьюорд (Seward) Берингова моря вблизи г. Ном (Аляска). Местные морские россыпи интересны тем, что имеют свойство восстанавливаться после нескольких мощных штормов. Несмотря на то, что добыча золота в районе Номы ведется уже более 100 лет, каждое лето здесь начинается новый старательский сезон по отработке россыпей. Тем не менее, основная часть золота Сьюардского полуострова добыта из россыпей древних пляжей, расположенных в пределах прибрежной равнины. Древние пляжные отложения и связанные с ними россыпи развиты в виде полос, протягивающихся субпараллельно современной береговой линии. Примерно в километре от берега на высоте 9 м от уровня океана известен «второй пляж» (Second Beach) с промышленной золотоносностью. Считается, что он был образован во время Сангамонского межледникового периода плейстоцена (75–125 тыс. лет назад). Золотоносные отложения «третьего» и «четвертого»

пляжей располагаются на высоте 21–24 м над уровнем моря в тыловой части равнины на удалении более 5 км от берега. С помощью морской сейсморазведки на шельфе полуострова также обнаружена цепь затопленных пляжей на разных уровнях (от -11 м до -24 м), образовавшихся 5–30 тыс. лет назад. А еще дальше от берега, на глубине около 25 метров обнаружена погребенная волноприбойная терраса с пляжем плиоценового возраста (1.8–5.3 млн лет) на основании из кристаллических сланцев палеозоя [23]. К настоящему времени на шельфе вблизи Номы выявлен целый ряд подводных россыпей на небольших глубинах (-3...-6 м). Их добыча ведется вольными старателями с помощью самодельных морских драг.

Проводя аналогии с Номом, можно предположить, что «верхний пляж» полуострова Тохареу, находящийся на отметке +9 м, образовался в то же время, что и на Аляске, и так же может оказаться золотоносным. «Нижний» погребенный пляж с уровнем абразионной поверхности -6 м сформирован, по-видимому, во время неоплейстоценового оледенения 15–75 тыс. лет назад, когда океан понизился до этого уровня. Географическая и климатическая близость прибрежных зон северных морей Тихого океана обуславливает и некоторые общие черты недалекого геологического прошлого. Это может свидетельствовать о присутствии на побережье Охотского моря множества древних прибрежно-морских россыпей золота как на суше, так и затопленных на шельфе. В заключении можно привести высказанное более 60 лет назад, и актуальное до сих пор, мнение Ю.А. Билибина, что «кажущееся отсутствие прибрежных россыпей (в России, прим. авт.) является лишь следствием их недостаточной изученности» [4].

ТЕХНОГЕННЫЕ РОССЫПИ

«Техногенные россыпи возникают в результате неизбежных потерь полезного ископаемого в процессе обработки месторождений других генетических типов» [22]. Условия происхождения техногенных россыпей накладывают свой отпечаток на их строение, которое отличается от природных (целиковых) месторождений. Особенностью таких россыпей является наличие ценных попутных компонентов: титаномагнетита, ильменита, рутила, циркона, касситерита, шеелита, танталониобатов и других [16]. В геологическом отношении техногенные месторождения состоят из отвалов вскрышных пород, эфельных и галечных отвалов, недоработок пласта по мощности, внутриконтурных и законтурных целиков. Потери металла возникают при неудовлетворительной промывке глинистых песков, когда монитор смывает в отвал гальку и валуны с глиной, содержащей золото. На россыпях

с крупным золотом галька может содержать самородки и золото кварцевые агрегаты. Недоработка продуктивного пласта часто встречается на дражных полигонах в районах развития многолетней мерзлоты. Драга не может взять мерзлые пески и плотик, в трещинах которого есть золото. Потери металла при обработке мерзлых россыпей иногда достигают 30 % от запасов россыпи. А неотработанные целики могут содержать 20–50 % золота, имеющегося в пределах промышленных контуров россыпи.

Наиболее распространенным способом обработки техногенной россыпи является дражная добыча. При этом естественными осложняющими факторами являются валунистость и кавернозный плотик, снижающие скорость проходки и извлекаемость золота. После первичного прохождения драги часто появляется дополнительный мешающий фактор – очаговая (островная) мерзлота. Как показывает опыт работ и сопоставление с планами обработки участков драгами в прежние годы, она образуется в центральной части дражного хода, занимая около 1/3 его ширины [3]. Так как осложняющие факторы снижают производительность драг при обработке в 5–10 раз, желательно иметь информацию о характере плотика и местоположении зон валунистости и развития мерзлоты.

Изучение и оценка осложняющих факторов добычи техногенных месторождений с помощью геофизических методов проводились на ряде дальневосточных приисков. Ниже приведены примеры работ на участках распространения валунистых застилов (курумов) и очаговой мерзлоты.

Участок Верхняя Уда располагается в Нижнем Приамурье в долине р. Большая Уда, правом притоке Амгуни. В геологическом отношении территория относится к западной части Сихотэ-Алиньского вулканического пояса. Коренными породами являются терригенные отложения юрского и раннемелового возраста. Подавляющая часть разреза представлена чередованием алевролитов и песчаников с редким участием конгломератов, кремнистых пород и диабазов. Область выделяется большим количеством интрузивных массивов кислого состава, прорывающих терригенные отложения. Связь золотой минерализации с кислыми интрузиями подтверждена недавним открытием золоторудного месторождения в истоках ручья Чульбаткан, левого притока Большой Уды. Месторождение Чульбаткан относится к гидротермальному типу золото-кварцевой формации и располагается в эндоконтакте позднемеловой Чульбатской плагиогранит-гранодиоритовой интрузии [1]. Россыпное золото разрабатывалось в долине р. Большая Уда с 70-х годов XX века. За четверть века практически вся целиковая часть россыпи была выбрана, наступило

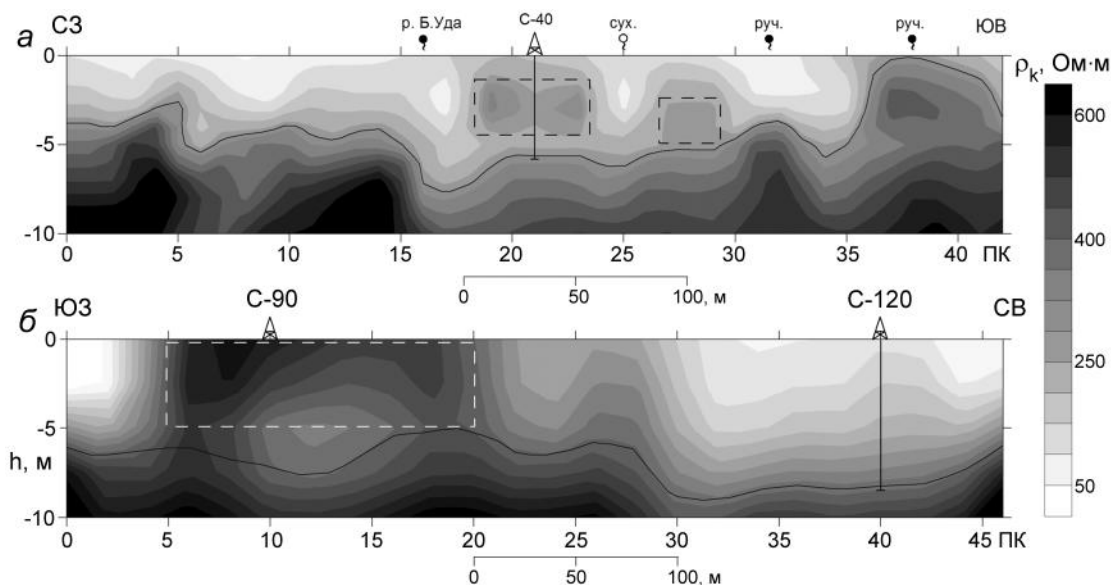


Рис. 7. Разрезы кажущихся сопротивлений ДИЗ в долине реки Большая Уда (а) и в междуречье р. Б.Уда и руч. Саватеевского (б).

Пунктиром выделены зоны повышенной валунистости. Расшифровка сокращений: руч. – ручей, сух. – сухое русло ручья.

время отработки техногенных эфельных и галечных отвалов. Основным осложняющим фактором добычи месторождения была высокая валунистость долинных отложений, вплоть до сплошных застывов крупными глыбами. После отработки русла к природному курумму добавились техногенные галечно-валунистые отвалы.

Выделение участков крупно-валунистых отложений и определение их глубины залегания проводилось с помощью электромагнитных методов. Как известно, УЭС терригенных отложений увеличиваются при росте величины фракции. Следовательно, валунные отложения обладают самым высоким сопротивлением, при прочих равных условиях. Площадное электромагнитное профилирование позволяет картировать области повышенных сопротивлений, связываемых с валунистостью. Таким образом были околтурены две крупные высокоомные площади: в верховье и среднем течении Большой Уды. Дистанционные индукционные зондирования дают возможность оценить распределение сопротивления по глубине и идентифицировать принадлежность пород. ДИЗ были проведены по нескольким поперечным профилям на обеих площадях. Так, по профилю в верховьях р. Б. Уда были выделены три зоны высоких сопротивлений (рис. 7, а). Две из них определены как техногенные отложения (ПК18-23 и ПК26-29), а в интервале ПК36-42 обнаружено поднятие плотика, где прямо на поверхности можно наблюдать останцы полуразрушенных коренных пород. Скважина С-40, пробуренная на

ПК21 встретила отмытые крупногалечные отложения мощностью около 3 метров, что согласуется со сделанными выводами.

Характер отложений в среднем течении реки показан на примере профиля в междуречье Большой Уды и ручья Саватеевского. Профиль ДИЗ начинается на правобережной террасе р. Б.Уда и проходит через широкую долину до левого берега ручья (рис. 7, б). Ситуация в первой половине профиля довольно неблагоприятная: начиная с ПК5 на протяжении 150 м поверхность представляет собой сплошной курумник. Как показали результаты зондирования, высокие сопротивления в интервале пикетов ПК5–ПК20 распространяются на глубину более 5 метров, что свидетельствует о распространении крупноглыбовых отложений вплоть до коренных пород. Далее валунистость уменьшается, а после ПК30 до ручья Саватеевского (ПК46) полностью отсутствует. Пробуренные позднее скважины подтвердили результаты геофизики.

Софийский прииск. Россыпные месторождения в Ниманском золотоносном районе разрабатываются с XIX века. Россыпи золота Софийского узла относятся преимущественно к аллювиальному типу. Наиболее распространены долинские россыпи, реже встречаются террасовые. Золотоносные пласты приурочены к приплотиковой части, хотя имеются случаи распределения золота по всей массе рыхлых отложений [19]. Электрометрические исследования проводились в коридоре проектного хода драги № 4 по техногенной россыпи на р. Олга. В основании дражного

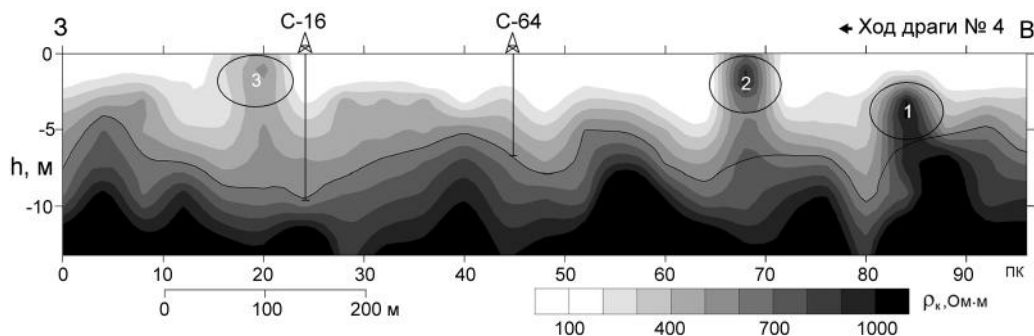


Рис. 8. Разрез кажущихся сопротивлений ДИЗ на дражном полигоне Софийского прииска (по полевым материалам В.П. Бакаева).

Пронумерованными овалами показаны выделяемые геофизикой зоны развития очаговой мерзлоты: 1 – присутствие мерзлоты подтверждено при прохождении драги; 2 – очаг крепкой мерзлоты вскрыт вблизи поверхности бульдозерной расчисткой; 3 – потенциальный очаг ослабленной мерзлоты.

полигона залегают амфиболовые и углистые сланцы. Рыхлые отложения представлены разнородным материалом, оставшимся после первичного прохождения драги. Главная проблема, проявившаяся во время повторного драгирования, связана с возникновением очагов мерзлых пород, из-за которых резко снижается продвижение и общая производительность работ. Выделение «островной» крепкой мерзлоты для корректировки хода драги является крайне важной задачей для старателей.

Промерзание рыхлых песчано-глинистых отложений обычно сопровождается сильным изменением их физических свойств. Удельное электрическое сопротивление этих пород в зависимости от степени промерзания увеличивается в 10–100 и более раз. Таким образом, по аномалиям сопротивления можно выделить участки мерзлых грунтов и оценить их «крепость». На качественных разрезах индукционных зондирований очаговая мерзлота выглядит в виде вертикальных зон повышенных сопротивлений, приближенных к дневной поверхности (рис. 8). На представленном примере глубина до коренных пород в коридоре профиля составляет 5–9 м. Приблизительная граница поверхности плотика проходит по изолинии 500 Ом·м, что позволяет выделить три зоны, похожие по признакам на мерзлотные блоки. Они располагаются в интервалах пикетов: ПК15–ПК23, ПК65–ПК72 и ПК82–ПК87. Присутствие очаговой мерзлоты было подтверждено при проходе драги в районе первой зоны (ПК82–ПК87). Еще одна заверка проведена бульдозерной расчисткой во второй зоне (ПК65–ПК72), где была вскрыта крепкая островная мерзлота. Значения кажущихся сопротивлений в этих областях составляют более 800 Ом·м, что можно принять в качестве ориентира для крепкой мерзлоты. В

третьей аномальной зоне (ПК15–ПК23) сопротивления не превышают 300 Ом·м, что может характеризовать зону деградирующей или ослабленной мерзлоты.

В большинстве золотоносных районов нашей страны (Урал, Восточная Сибирь, Дальний Восток), основанием россыпных месторождений являются высокоомные кристаллические породы. Поэтому присутствие валунов или мерзлых пород, как и поднятия плотика, проявляется при электротометрических исследованиях схожим образом – в увеличении удельных электрических сопротивлений. Таким образом, любые области повышенных значений УЭС, выявленные электротометрией, свидетельствуют о наличии опасных участков для прохождения драги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главные задачи, решаемые геофизическими методами на целиковых россыпях – это поиск потенциальных структурных ловушек золота (палеорусел, ложков), определение характера поверхности плотика и мощности рыхлых отложений. Признаком погребенной структурной ловушки металла является депрессия рельефа плотика, которая проявляется в уменьшении удельного электрического сопротивления. В некоторых районах, где золоту сопутствует магнетит, над россыпными месторождениями наблюдаются локальные аномалии магнитного поля.

При изучении прибрежно-морских россыпей с помощью электромагнитных зондирований можно проводить литологическое расчленение разреза. Результаты работ показали сильные отличия в электропроводности коренных пород основания разреза, морских осадков и континентальных отложений. Высокая контрастность пород по электрическим свойствам является хорошим обоснованием для применения электротометрии на пляжных россыпях.

На техногенных месторождениях большую роль играет выявление горно-геологических факторов, осложняющих добычу на дражных полигонах (очаговая мерзлота, валунистость). Выступы коренных пород, присутствие валунов или мерзлых пород проявляются на показаниях электроразведки схожим образом – в увеличении удельных электрических сопротивлений. Таким образом, любые области аномально высоких значений сопротивлений идентифицируют опасные участки для прохождения драги.

Приведенные материалы свидетельствуют о высокой эффективности применения электроразведочных методов геофизических исследований при изучении различных типов россыпных месторождений золота.

Автор выражает благодарность своему коллеге: инженеру-геофизику Владимиру Павловичу Бакаеву, главному энтузиасту наших совместных дальневосточных экспедиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Старостин В.И. Новое месторождение золота в Нижнем Приамурье-Чульбаткан (Хабаровский край) // Вестн. МГУ. Сер. 4: Геология. 2017. № 1. С. 33–38.
2. Андреев С.И. Минерально-сырьевой потенциал дальневосточных морей и перспективы его освоения // Геология и полез. ископаемые Мирового океана. 2014. № 4. С. 5–23.
3. Бакаев В.П. Выявление методами электроразведки погребенной очаговой многолетней мерзлоты на россыпном техногенном месторождении платины по р. Лобва, Северный Урал. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 38 с.
4. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 463 с.
5. Бобачев А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Программа IPI2Win / Руководство пользователя. М.: МГУ, 2003. 25 с.
6. Вешев А.В., Ивочкин В.Г., Игнатьев Г.Ф. Электромагнитное профилирование. Л.: Недра, 1971. 216 с.
7. Вешев А.В., Любцева Е.Ф., Леончиков В.М. Временное руководство по методу электромагнитного зондирования с вертикальным магнитным диполем. Л.: ЛГУ, 1978. 55 с.
8. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1980. 391 с.
9. Гольдфарб Ю.И., Петров А.Н., Прейс В.К., Скурида Д.А. Геологические предпосылки дифференцированного подхода к поискам и разведке аллювиальных россыпей золота (на примере Северо-Востока России) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 3. С. 13–26.
10. Государственная геологическая карта РФ. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-54. Николаевск-на-Амуре: Объясн. зап. / Науч. ред. Г.В. Роганов, О.И. Супруненко. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 496 с.
11. Давыдов В.А., Бакаев В.П. Геофизика на россыпных месторождениях золота // Разведка и охрана недр. 2012. № 4. С. 41–47.
12. Давыдов В.А. Двухмерная инверсия дистанционных индукционных зондирований // Вопр. естествознания. 2018. № 1 (15). С. 62–69.
13. Долбинов А.С., Дорошкова З.Н. Геологическое строение и промышленная оценка россыпи золота ручья Турчик (Николаевский р-он Хабаровского края). Хабаровск: ДВТГУ, с. Красное, 1971.
14. Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984. 352 с.
15. Кунгурова В.Е. Перспективы освоения прибрежно-морских золотоносных россыпей западного побережья Камчатки // Горн. информ.-аналитич. бюл. (науч.-технич. журн.). 2014. № S2. С. 317–323.
16. Литвинцев В.С., Леоненко Н.А., Банщикова Т.С. Типоморфные особенности золота техногенных россыпей Приамурья в аспекте новых технологий // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 3, № 4. С. 89–99.
17. Мартынов М.В., Рямов С.А., Кондратьева В.А. Отчет по теме «Составление минерагенической карты Хабаровского края». 1:500 000. Ч. I.: Общая объясн. зап. Хабаровск: ДВИМС, 2000. 210 с.
18. Мирзеханова З.Г., Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С. Ретроспективный анализ формирования ресурсно-экологических проблем при отработке россыпных месторождений золота // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 2. С. 94–106.
19. Пискунов Ю. Г., Степанов В. А. Перспективы коренной золотоносности Софийского рудно-россыпного узла (Хабаровский край) // Регион. проблемы. 2005. № 6–7. С. 39–45.
20. Таюрский А.Д. Отчет о результатах детальной и предварительной разведки россыпей золота в бассейнах рр. Уды, Май и на полуострове Тохареу. Удская партия, 1984–88 гг. Нижне-Амурская экспедиция, с. Красное, 1988.
21. Титлинов В.С., Журавлева Р.Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. 58 с.
22. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1981. 383 с.
23. Nelson, C.H., Hopkins, D.M. Sedimentary processes and distribution of particulate gold in the northern Bering Sea // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 689, 1972. 27 p.

Рекомендована к печати В.Б. Каплуном

после доработки 22.03.2022 г.
принята к печати 23.01.2023 г.

V.A. Davydov

The use of electrometry methods in the study of gold placer deposits in the Khabarovsk Territory

The article presents the results of applying geophysical methods in the study of placers of various genetic types in the Khabarovsk Territory. The main research methods are vertical electrical and remote induction sounding. Geophysical studies of alluvial placers were carried out along river valleys, at the watersheds and small streams of the Turchikansky lode-and-placer gold cluster. The main tasks to be solved are the search for potential structural traps of gold (paleoriverbeds, ravines), determination of the nature of the bedrock surface and the thickness of the overlying loose deposits. The work performed allows us to identify a prospecting indicator for placer gold in a given territory, that is, lower electrical resistivity values in the presence of a local positive magnetic anomaly. The study on the coastal marine placer on the coast of the Gulf of Nicholas (Sea of Okhotsk) focused on the lithological breakdown of the geologic section by physical properties. The results of the work showed strong differences in the electrical conductivity of the bedrock at the base of the section, marine sediments, and continental deposits. The application of electrometry methods is supported by the fact that rocks differ very distinctly by electrical properties. This is confirmed by placer mining activities at the technogenic deposits of the Verkhnyaya Uda and the Sofia mine. Mining and geological factors complicating dredging operations, such as permafrost and bouldery debris, were studied at technogenic placers by induction methods. Research results revealed that the presence of boulders or frozen rocks is manifested in the same way in electrical readings, that is, in a sharp increase of electrical resistivity. Thus, areas of abnormally high resistivity are hazardous areas for the passage of the dredger. These findings indicate the high efficiency of the application of electrical exploration technologies in the study of different types of placer gold deposits.

Key words: gold, coastal-marine placer, technogenic deposit, induction electrical surveying, permafrost, Khabarovsk Territory.