

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩАХ

**А.Н.ОРЕХОВ**, канд. геол.-минерал. наук, доцент, *orekhovan@mail.tomsknet.ru*  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

Золоторудные месторождения, локализованные в черносланцевых толщах, являются одними из основных промышленно значимых источников рудного золота. В то же время, с точки зрения изучения этих объектов геофизическими методами, существует значительное количество проблем, обусловленных, с одной стороны, относительно невысокой контрастностью физических свойств, а с другой – искажающим влиянием графитизированных пород.

Приведены полевые геофизические данные по перспективной площади, расположенной в пределах Бодайбинского района. Выполнен их анализ, приведены основные выводы.

**Ключевые слова:** золото, месторождения золота в черносланцевых толщах, Бодайбинский район, магниторазведка, взрывная поляризация, гамма-спектрометрия, физико-геологическая модель, комплексная интерпретация.

**Введение.** Месторождения золота, связанные с толщами углеродистых сланцев, являются одним из наиболее значимых с промышленной точки зрения промышленно-генетических типов. Они, как правило, приурочены к разновозрастным, мощным сланцевым толщам разной степени обуглероженности, достаточно контрастным по своим физическим (и в первую очередь, электрическим) свойствам. Казалось бы, это делает такие объекты весьма благоприятными для опознания их геофизическими методами. Однако это не совсем так. Проблема состоит в том, что сами контрастные по физическим свойствам толщи занимают достаточно большие площади, а оруденение локализовано лишь на отдельных участках. Причем в их пределах физические свойства пород отличаются от безрудных зон не всегда значительно. Второй причиной, существенно мешающей применению в первую очередь электроразведочных методов, является как раз широкое развитие графитизированных пород, что, учитывая достаточно сложные поверхностные условия, существенно снижает эффективность электроразведки методом вызванной поляризации (ВП).

Тем не менее, рациональное комплексирование геофизических методов и использование при интерпретации данных подхода, основанного на физико-геологическом моделировании, позволяет даже в этих сложных условиях достаточно уверенно выделять признаки проявления гидротермальных процессов, а значит, и прогнозировать золотое оруденение\*.

Фактической основой статьи являются материалы комплексных наземных геофизических работ масштабов 1:25 000 и 1:10 000, выполненных в Бодайбинском районе в 2009-2011 годах.

В пределах площади работ выделены отложения Илигирской (PR<sub>3il</sub>), Догалдынской (PR<sub>3dg</sub>) и Анангурской свит (PR<sub>3an</sub>). Они сравнительно слабо метаморфизованы и собраны в крупные линейные складки. Представлены, в основном, терригенными отложениями, насыщенными углеродистым веществом. Отмечается повсеместная вкрапленность желези-

---

\* Ерофеев Л.Я. Петрофизические условия локализации месторождений золота в углеродистых породах / Л.Я.Ерофеев, Г.Г.Номоконова, А.Н.Орехов // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Матер. Всерос. научно-техн. конф. Отв. ред. Л.Я.Ерофеев / Томск. политехн. ун-т. Томск, 2003. С.207-212.

Erofeev L.Ja., Nomokonova G.G., Orekhov A.N. Petrofizicheskie uslovija lokalizacii mestorozhdenij zolota v uglerodistykh porodah (Petrophysical conditions of gold ore deposits localization in carbonaceous rocks). Geofizicheskie metody pri razvedke neдр i jekologicheskijh issledovanijah: Mater. Vseros. nauchno-tehn. konf. Ed. L.Ja.Erofeev. Tomsk. Politehn. un-t. Tomsk, 2003, p.207-212.

сто-магнезиальных карбонатов, иногда встречается примесь туфогенного материала. В целом, для осадочно-метаморфических отложений района характерно широкое развитие горизонтов углеродсодержащих пород.

Для района установлена связь между пликативной тектоникой и золотым оруденением. Так, в пределах нормальной складчатости развивается только кварцево-жильная минерализация наиболее простых типов. В то же время в зонах смятия строение рудных тел усложняется, при этом в ряде случаев появляются кварц-сульфидные зоны, наиболее интересные с промышленной точки зрения.

Метаморфизм в районе развит достаточно широко, причем очень хорошо проявлена региональная метаморфическая зональность. Непосредственно с региональным метаморфизмом тесно связаны метасоматические изменения пород, к которым относятся замещение кальцита анкеритом и, далее, сидеритом, с одновременной концентрацией железисто-магнезиальных карбонатов и сульфидов в углеродистых толщах, что обуславливает появление прожилково-вкрапленной и карбонатной минерализаций. На этом этапе также происходило формирование пирротина. Эти преобразования сопровождаются окварцеванием пород и формированием в ядерных частях пликативных структур вытянутых жильных полей. С этой стадией гидротермальных преобразований связывается местное перераспределение золота и элементов-спутников с последующим отложением их в зонах сульфидизации и кварцевых прожилково-жильных телах. Сформировавшиеся в это время рудные зоны имеют линейный вид, субширотное простирание и несколько повышенное содержание золота. Последний параметр резко повышается в пределах отдельных узлов, приуроченных к таким зонам, что обусловлено проявлением более поздних наложенных гидротермальных процессов\*.

**Результаты геофизических исследований.** Перед проводимыми геофизическими работами ставилась задача выявления потенциально золотосных участков, а также картирования структуры площади. Анализ результатов ранее выполненных в районе аэрогеофизических и наземных геофизических работ позволил сформировать как оптимальный комплекс методов, так и ожидаемую модель объекта поисков.

В комплекс методов масштаба 1:25 000 были включены: магниторазведка, профилирование методом ВП и гамма-спектрометрия. В комплекс работ масштаба 1:10 000 дополнительно была включена электроразведка методом естественных полей (ЕП).

По геологическим данным, объекты поисков представляют собой достаточно узкие (порядка 20-30 м) протяженные зоны, связанные с тектоническими нарушениями, преимущественно субширотного простирания и расположенными, главным образом, в замковых частях антиклинальных складок. Эти зоны обуглерожены, в них присутствует пирротин (причем, по петрофизическим данным, в рудной зоне он имеет обратное намагничение), а в контактовых частях проявлено окварцевание. Таким образом, в физических полях мы должны видеть узкие, вытянутые, слабо отрицательные аномалии магнитного поля, а в пределах рудоносных участков они должны сопровождаться закономерно разнесенными в пространстве аномалиями вызванной и естественной поляризуемости, а также кажущегося удельного электрического сопротивления. Кроме того, рудным зонам должны соответствовать локальные аномалии концентрации калия (в силу характера метасоматоза) по данным гамма-спектрометрии.

Эта модель объекта поисков, с одной стороны, подтвердила правильность выбора комплекса методов, с другой – обусловила требования к методике проведения работ. Так, например, магниторазведка выполнялась с шагом 5 м. Отдельно стоял вопрос о возможностях профилирования ВП. Широкое развитие углеродистых пород, причем в значительном числе

---

\* *Иванов А.И.* Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском районе // Разведка и охрана недр. 2008. № 2. С.11-16.

*Ivanov A.I.* Opyt prognozirovaniya, poiskov i ocenki novykh zolotorudnykh mestorozhdenij v Bodajbinskom rajone (*An Attempt of Prospecting, Exploration and Estimation of New Gold Deposits in the Area of Bodaibo*). Razvedka i ohrana neдр. 2008. N 2, p.11-16.

случаев углеродистые сланцы весьма интенсивно прокварцованы по сланцеватости и стоят вертикально, ставило под сомнение возможность получения какой-либо существенной информации по вызванной поляризуемости. Ранее проведенные в районе работы с ВП на постоянном токе положительных результатов не дали. Опытные работы с ВП на переменном токе, проведенные нами, показали, что в пределах зон обуглероживания мы устойчиво получаем положительные значения угла сдвига фазы. Причем ни изменение вида установки, ни понижение частоты не позволили избавиться от этого эффекта. Поэтому, в соответствии с методическими рекомендациями, для геологической интерпретации было решено использовать не сам параметр угла сдвига фазы, а дифференциальный параметр. Для этого съемки ВП в разных масштабах выполнялись на разных частотах, а также использовались амплитуды сигнала, полученные на разных гармониках.

На рис.1-3 приведены некоторые результаты геофизических работ по основному участку и одному из участков детализации. Близкие по структуре физические поля были получены и по другим участкам.

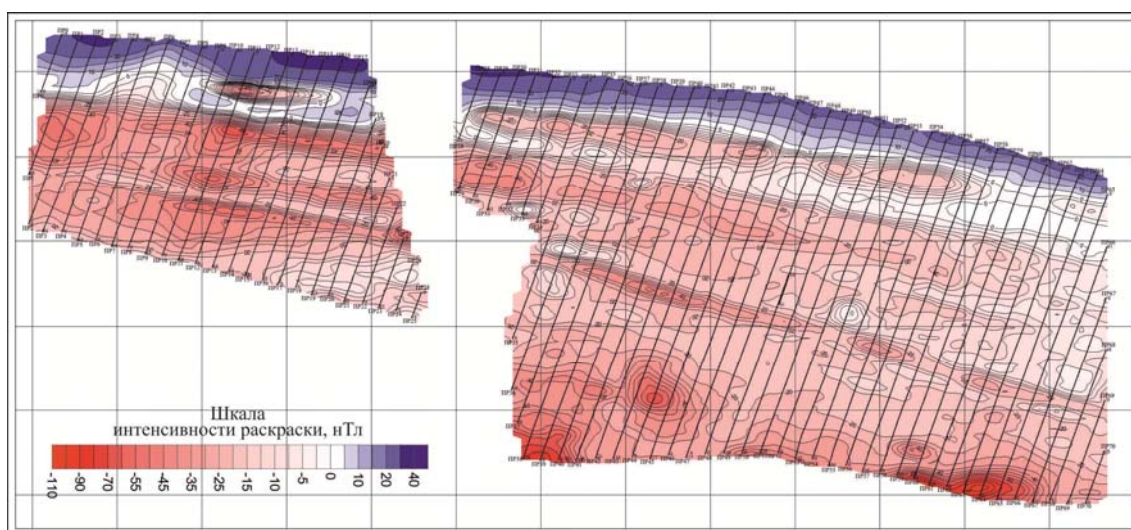


Рис.1. План изолиний приращения полного вектора индукции магнитного поля участка детализации по результатам съемки масштаба 1:10 000

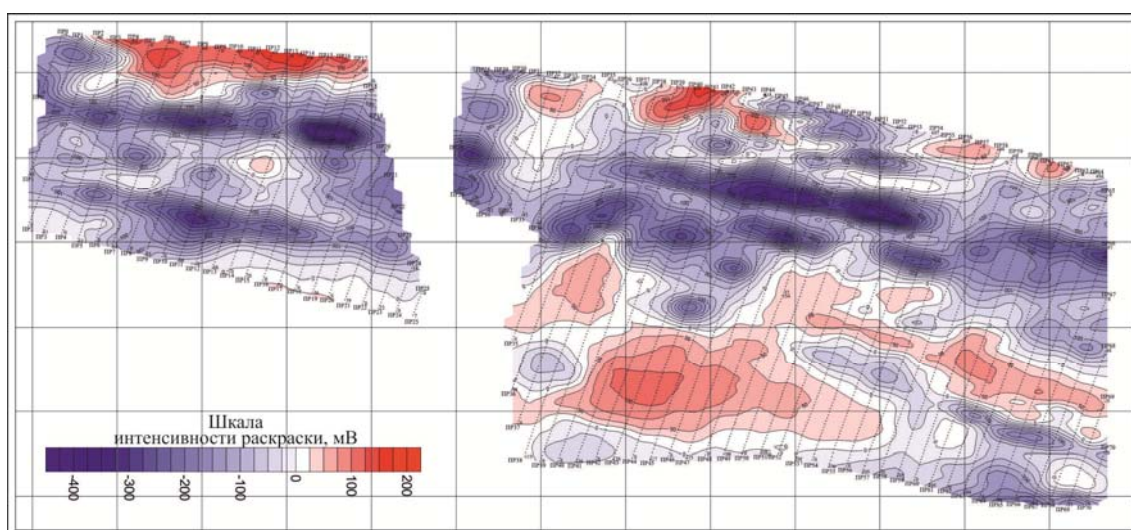


Рис.2. План изопотенциалов естественного электрического поля участка детализации по результатам съемки масштаба 1:10 000

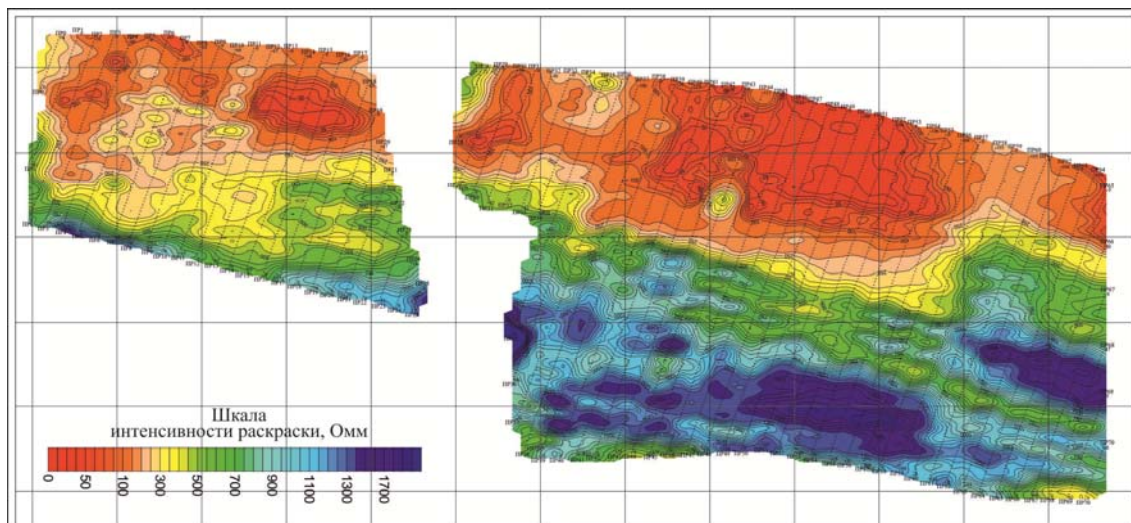


Рис.3. План изом кажущегося удельного электрического сопротивления участка детализации по результатам съемки масштаба 1:10 000

**Обсуждение результатов.** Известно, что физические поля картируют не само распределение золота, а результаты гидротермально-метасоматических изменений пород, захватывающих, как правило, достаточно большие площади и часто проявляющихся достаточно контрастно, в том числе и в виде зонального распределения физических полей.

Особенности рудного процесса, проявленного в пределах участка работ, позволяют определить основные аномалиеобразующие факторы, которые отражаются в физических полях, определяя их морфологию и свидетельствуя о наличии или отсутствии золоторудной минерализации.

В первую очередь к таким факторам следует отнести пирротинизацию. Гидротермальный пирротин в районе, по имеющимся данным, формируется в ходе первой фазы гидротермального процесса, завершающего процессы метаморфизма, а затем в результате проявления дальнейших наложенных преобразований претерпевает определенные изменения. Потенциально рудными считаются отрицательные аномалии магнитного поля, обусловленные обратно намагниченным пирротинном. Об этом говорят как результаты работ предшественников, так и ранее выполненные ЦНИГРИ палеомагнитные исследования.

К таким же факторам следует отнести и графитизацию, особенно в случае, если она сопряжена с пиритизацией. Результаты этого процесса приводят к понижению сопротивления, повышению поляризуемости и формированию отрицательных, часто достаточно интенсивных аномалий ЕП. Как правило, процессы графитизации связаны с перераспределением и упорядочиванием углеродистого вещества, уже имеющегося в породах, но в ряде случаев графитоиды могут формироваться и в процессе метасоматоза. Как правило, графитизация и пирротинизация несколько разобщены в пространстве, что, кстати, является одним из признаков проявления рудного процесса.

Еще одним из процессов, проявленных в районе и однозначно связанных с оруденением, является окварцевание. Можно было бы говорить о том, что этот процесс весьма контрастно меняет физические свойства пород (особенно электрические) и, соответственно, должен уверенно картироваться электрическими полями. Однако проблема состоит в том, что окварцевание часто проявлено по графитизированным зонам, представляет собой серию кварцевых прожилков, часто маломощных. Соответственно, изменения электрических свойств могут быть не столь однозначными.

Необходимо также иметь в виду, что графитизация и сульфидизация могут возникать и в результате метаморфизма. Хотя образования (сульфиды, зоны графитизации с сульфи-

дами), имеющие гидротермальную природу, проявляются в физических полях значительно контрастнее метаморфогенных, вопрос разделения этих образований для района не решен.

Естественно, что интерпретация физических полей, выполненная в условиях явного дефицита петрофизических данных, носит вариантный характер. Поскольку масштаб съемки достаточно мелкий, речь о выделении рудных столбов по геофизическим данным не идет, а интерпретация была ориентирована на выявление зон аномального распределения физических полей, в которых нарушалась бы спокойная, «породная» структура физических полей и просматривались результаты проявления процессов, описанных выше. Таким образом, потенциально рудоносными нами считались области, пространственно приуроченные к протяженным линейным слабоотрицательным аномалиям магнитного поля, на участках, где они пересекаются крупными субширотными тектоническими нарушениями. Обязательным условием также считалось проявление геофизической зональности, выражающейся в закономерном смещении друг относительно друга осей аномалий всех наблюдаемых физических полей.

**Выводы и рекомендации.** Сформулируем основные выводы, сделанные по результатам проведенных работ.

1. Вышеописанный комплекс работ способен решать задачи прогнозирования золотого оруденения в черносланцевых толщах.

2. Петрофизическое обеспечение геофизических исследований в районе совершенно недостаточно и не может обеспечить уверенной интерпретации наблюдаемых физических полей.

3. Основным поисковым признаком золотого оруденения в районе является наличие геофизической зональности, заключающейся в закономерном расположении друг относительно друга аномалий магнитного поля, поля сопротивлений, естественного электрического поля, поляризуемости и аномалий естественной радиоактивности элементов калиевой природы. При этом золотое оруденение приурочено к зонам отрицательного магнитного поля, что, предположительно, обусловлено отрицательным углом наклона вектора остаточной намагниченности гидротермального пирротина.

4. Район характеризуется достаточно напряженным структурно-тектоническим строением, причем не все нарушения одинаково проявлены в различных физических полях. В то же время именно в узлах пересечения тектонических нарушений с продольными структурами и формируется геофизическая зональность, предположительно обусловленная гидротермально-метасоматическими процессами, с которыми непосредственно связано золотое оруденение.

---

---

## INFORMATIVE IMPORTANCE OF GEOPHYSICAL METHODS FOR EXPLORATION OF GOLD ORE MINERALIZATION IN BLACK SHALE STRATA

A.N. OREKHOV, *PhD in Geological and Mineral Sciences, Associate Professor,*  
*orekhovan@mail.tomsknet.ru*  
*National Research Tomsk Polytechnic University, Russia*

Gold ore deposits located in black shale strata are one of the main industrially significant sources of ore gold. However, using geophysical methods for exploration of these objects may lead to numerous problems caused, on the one hand, by relatively low physical contrast and, on the other hand, by the distorting effect of graphitized rocks.

This article presents some *in-situ* geophysical data from a promising area in Bodaibinsky region, their analysis and some basic conclusions.

**Key words:** gold, gold deposits in the black shale strata, Bodaibinsky region, magnetic survey, induced field (IF), gammaspectrometry, physical-geological model, complex interpretation.