

О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ВАСИЛЬЕВСКОГО УЗЛА (БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н., Шарафиев Д.М., Шарафиев И.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Рассматриваются вопросы создания физико-геологических моделей золоторудных месторождений, локализованных в черносланцевых толщах на примере Васильевской площади Бодайбинского золоторудного района.

Обзор проблемы и постановка задачи

Бодайбинский район – это один из крупнейших золоторудных районов России. История его изучения насчитывает более 150 лет. В последнее время, по мнению многих геологов, этот район считается перспективным на обнаружение новых коренных месторождений золота, в том числе крупных и уникальных [1, 6].

Исследуемая площадь располагается в центральной части Байкало-Патомского нагорья, на границе с Бурятией на юге и Якутией на востоке и на севере.

Для Бодайбинского района наиболее характерны закрытые ландшафты – залеменные, задернованные и заболоченные моховые склоны, под которыми развит вечномерзлый слой гумусово-торфяных отложений [3]. Поэтому поиски золоторудной минерализации проводятся здесь при активном использовании геофизических методов. Полученные материалы существенно повышают эффективность принятия решения о дальнейшем изучении тех или иных участков. Однако интерпретация полученных геофизических данных по потенциально перспективным участкам существенно осложнена из-за отсутствия моделей исследуемых объектов, а также информации о физических свойствах минерализованных зон и вмещающих пород.

В структурном отношении рудный район находится в пределах одноименного прогиба рифейского возраста [5]. В геологическом строении района принимают участие осадочно-метаморфические породы верхнего протерозоя, разной степени метаморфизма. Золотое оруденение на территории района локализовано в черносланцевых толщах, оно приурочено к минерализованным зонам, появление которых связывается с гидротермально-метасоматическими процессами, которые отличаются по своим физическим свойствам от вмещающих пород, главным образом благодаря наличию полупроводниковых и ферромагнитных минералов [4]. Но, из-за небольших размеров и осложняющего влияния перекрывающих отложений, минерализованные зоны создают слабоинтенсивные возмущения в сложных аномальных полях. Именно поэтому, на наш взгляд, в основу прогнозирования скрытого оруденения в этих условиях должна быть положена физико-геологическая модель, учитывающая геолого-геофизические условия района работ и максимально адаптированная к ним технология производства работ [2]. При этом необходимо: 1) создание петрофизической и геолого-геофизической модели объекта, по результатам работ прошлых лет; 2) поэтапное проведение рационального комплекса геолого-геофизических исследований; 3) интерпретация полученных данных; 4) уточнение прогнозной модели; 5) проведение работ на прогнозных участках более крупного масштаба.

Априорная физико-геологическая модель

Поскольку для поисков золоторудной минерализации геофизическими методами в пределах Васильевского узла не существует надежной петрофизической мо-

дели объекта поисков, то нами была использована априорная физико-геологическая модель, которая была составлена по результатам геолого-геофизических работ прошлых лет в этом районе (Кулаков и др., 1981).

1. *Магнитные свойства пород* района определяются, в основном, величиной и направлением вектора остаточного намагничивания. Основным носителем магнетизма пород района является пирротин, в ряде случаев (в породах, не содержащих углерод) – магнетит. Главной особенностью магнитного поля в пределах рудной зоны является обратное остаточное намагничивание (практически 180 градусов к современному). Это позволило сделать вывод о наложенной природе оруденения в пользу более молодого возраста гидротермальных процессов или структурных условий. В этом случае очевидно, что участки, затронутые гидротермальным процессом, должны картироваться слабоинтенсивными отрицательными аномалиями магнитного поля. Тот факт что обратным намагничиванием характеризуются лишь небольшие линейные зоны говорит о том, что эти зоны, скорее всего, подвержены именно гидротермально-метасоматическим процессам.

2. *Электрические свойства пород* района определяются, главным образом, литологическим составом, а также характером и интенсивностью наложенной минерализации и структурно-текстурными особенностями. В целом, кажущиеся сопротивления площади относительно невысоки, лишь в редких случаях достигают 2000 Ом. Поляризуемость пород обусловлена прожилково-вкрапленной сульфидизацией гидротермальной природы и обуглероженностью пород. Участки графитизированных и сульфидизированных пород на фоне практически не поляризующихся толщ, отмечаются повышением поляризуемости до 10 % (в отдельных случаях до 50–70 %).

3. *Естественное электрическое поле* характеризуется интенсивными (до –500 мВ и выше) аномалиями. В этом поле отчетливо выделяется группа узких линейных интенсивных субпараллельных зон субширотного простирания. Причём, на разных интервалах, в естественном электрическом поле эти зоны проявлены по-разному. Это говорит о том, что гидротермальные процессы графитизации и сульфидизации были проявлены преимущественно в наиболее проницаемых частях этих зон, либо о том, что часть гидротермального графитоида и сульфидов были преобразованы более поздними процессами, либо о том и другом вместе.

4. Гидротермально-метасоматические процессы сопровождаются активным перераспределением макро- и микроэлементов, приводящим к формированию минералогопетрохимической зональности в околорудном пространстве. *Естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ)* не являются исключением и также вовлекаются в гидротермальные эпигенетические изменения пород. Различия в миграционных способностях радиоактивных элементов в условиях изменчивых физико-химических параметров гидротермально-метасоматических систем определяют возникновение радиогеохимической зональности, являющейся частным случаем общей дифференциации химических элементов в метасоматической колонке. Участки концентрирования золота также контролируются возникающими физико-химическими барьерами, что и обуславливает его пространственно-генетическую связь с продуктами калиевого метасоматоза.

Фактический материал был получен нами в ходе проведения наземных геофизических работ в 2009–2011гг. в пределах Васильевского золоторудного узла. Работы выполнены в масштабах 1:10000 и 1:25000. В комплекс вошли следующие наземные геофизические методы.

1. *Магнитометрические исследования*, которые выполнялись с использованием магнитометра МИНИМАГ, проведены для расчленения различных геологиче-

ских образований по магнитным свойствам, локализации участков развития сульфидного оруденения, картирования областей развития гидротермально-метасоматических процессов, связанных с оруденением, а также для картирования тектонических нарушений по особенностям структуры магнитного поля.

2. *Профилирование методом ВП* проведено на переменном токе на частоте 1,22 Гц, с использованием измерителя «МЭРИ-24» и генератора «АСТРА-100». Измерения проводились установкой А100М40N100В, позволившей разделить различные по удельному электрическому сопротивлению и поляризуемости образования, выявить области окварцевания, сульфидизации, а также оценить потенциальный масштаб сульфидного оруденения.

3. *Метод естественного электрического поля* в модификации потенциала, проводился для выявления областей сульфидизации, а также, совместно с методом ВП служил для оценки потенциального масштаба сульфидного оруденения и для картирования тектонических нарушений по особенностям структуры поля.

4. *Наземные гамма-спектрометрические исследования* выполнены гамма-спектрометром РКП-305, для установления областей метасоматоза и калишпатизации, которые, в свою очередь, должны выделяться в полях естественных радионуклидов.

Апостериорная модель

Для уточнения параметров модели, которые были выявлены в ходе ранее проведенных работ, на одном из известных рудопоявлений Васильевского золоторудного узла, проводились детальные работы. Результатом работ стало определение закономерностей взаимоотношения физических полей друг с другом. Установленную на участке зональность можно считать эталонной для локализации золоторудного оруденения. На участках, где была выявлена золоторудная минерализация и где проводились геофизические исследования, отмечены подобные пространственные взаимоотношения между физическими полями, которые, на наш взгляд, являются признаком месторождений для данного района и не повторяются на безрудных площадях. Эти закономерности в дальнейшем были подтверждены горно-геологическими работами и имеют следующий вид: 1) основной тектонической зоне соответствует слабоинтенсивная линейная отрицательная аномалия магнитного поля, порядка $-20 \dots -30$ нТл; 2) линейные аномалии повышенной проводимости и поляризуемости, картирующие процессы сульфидизации и обуглероживания, несколько смещены в сторону относительно самой зоны; 3) в ту же сторону смещена ось отрицательной аномалии естественного электрического поля, которое обусловлено теми же процессами; 4) с другой стороны от оси аномалии магнитного поля проявлена область положительного естественного электрического поля, пространственно совпадающая с областью несколько повышенного сопротивления, что, скорее всего, говорит о том, что здесь проявлено окварцевание; 5) здесь же зафиксированы аномалии ЕРЭ калиевой природы.

Дальнейшая работа по выявлению комплексных геофизических критериев оруденения велась с привлечением результатов наземных геофизических исследований 2009–2011 гг. Результатом совместного анализа материалов геофизических работ и петрофизических свойств пород в пределах Васильевского золоторудного узла стали следующие **комплексные геофизические критерии рудоносности**.

1. Основным поисковым признаком золотого оруденения в районе является наличие геофизической закономерности в расположении друг относительно друга аномалий магнитного поля, поля сопротивлений, естественного электрического поля, поляризуемости и аномалий ЕРЭ калиевой природы.

2. В магнитном поле рудные зоны выделяются, как области отрицательных значений магнитного поля, вытянутые в субширотном направлении, соответствующему генеральному простиранию структур района и чередующихся с зонами положительного магнитного поля, имеющими то же простирание.

3. В естественном электрическом поле, с точки зрения оруденения, интересны, прежде всего, линейные достаточно интенсивные отрицательные аномалии естественного электрического поля, имеющие субширотное простирание и ортогональные им смещающие и ограничивающие структуры.

4. Анализ наблюденного поля кажущегося удельного электрического сопротивления приводит к выводу, что области предполагаемых рудных зон картируются относительно не высокими значениями (до 1000 Ом) сопротивления. Это обусловлено тем, что в состав рудных зон входит не только кварц, который приводит к увеличению сопротивления, но и сульфиды, и углеродистые сланцы, которые уменьшают сопротивление.

5. В поле поляризуемости рудные зоны выделяются интенсивными аномалиями повышенных значений, что объясняется процессами обуглероживания и сульфидизации.

6. Поисковым признаком золотого оруденения в поле естественной радиоактивности является повышенные содержания ЕРЭ.

Литература

1. Вилор Н.В., Кажарская М.Г., Чупарина Е.В., Коткин В.В., Дейс С.Ю. Распределение концентраций золота в месторождениях Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. – 2007. – № 1. – С. 34–43.

2. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Геолого-геофизические условия на золоторудных полях Сибири // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 80–85.

3. Иванов А.И. Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском районе // Отечественная геология. – 2008. – № 6. – С. 11–16.

4. Иванов А.И. Закономерности формирования золоторудных месторождений Бодайбинского рудного района и новые аспекты их поисков // Разведка и охрана недр. – 2004. – №8–9. – С. 17–23.

5. Рундквист И.К., Бобров В.А., Смирнова Т.Н., Смирнов М.Ю., Данилова М.Ю., Ащеулов А.А. Этапы формирования Бодайбинского золоторудного района // Геология рудных месторождений. – 1992. – № 6. – С. 3–15.

6. Сафонов Ю.Г. Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира – генезис и металлогенический потенциал // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45. – № 2 – С. 305–320.