

УДК 553.411.078:551.24.055(477)

А. В. Драгомирецький, канд. геол.-мин. наук, доц.Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,
сектор акцессорных минералов ПНИЛ-1
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

АКЦЕССОРНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ДОКЕМБРИЙСКИХ ФОРМАЦИЙ (на примере Украинского щита)

В статье рассмотрены особенности методики тестирования потенциальной золотоносности докембрийских гнейсо-гранулит-гранитных комплексов. В ее основу положены результаты количественно-генетической интерпретации информации полученной при изучении акцессорных минералов магматических и ультраметаморфических комплексов Украинского щита. Методологической основой такого тестирования служит представление о том, что оценка потенциальной золотоносности любых геологических объектов относится к классу типичных "обратных" задач в геологии. При этом на основе таких количественных минералогических признаков акцессорных минералов, как распространенность, распределение, коэффициенты концентрации в "безрудных" кварцевых жилах, пегматитах, метасоматитах и других телах исследуемых формаций (массивов), состав аутометасоматических и наложенных ассоциаций, химический состав, состав примесей и генерации установлены ведущие геологические, в первую очередь, генетические признаки золотоносности. Это позволяет прогнозировать потенциальную золотоносность исследуемых докембрийских комплексов с высокой степенью достоверности.

Ключевые слова: тестирование, акцессорные минералы, потенциальная золотоносность, докембрий, Украинский щит.

Основу системы прогнозирования золоторудных объектов в докембрийских областях платформ составляют тестирование и оценка потенциальной золотоносности различных геологических тел (массивов, свит, комплексов). Для этого, наряду с традиционными методами исследований, предлагается использовать нетрадиционную методику изучения и количественно-генетической интерпретации результатов изучения акцессорных минералов [1]. Она позволяет на основе количественных признаков акцессорных минералов дать независимую оценку золотоносности геологических объектов и, таким образом, осуществить достоверный прогноз.

Методика и объекты исследований

Составными частями методики являются следующие: 1) опробование; 2) лабораторная обработка проб; 3) количественно-минералогическое

ческий анализ проб; 4) количественно-генетическая интерпретация результатов изучения акцессорных минералов. Последняя включает обязательную количественную оценку минералогических признаков. Методика количественно-генетической интерпретации результатов исследований акцессорных минералов детально описана в работах [1–3]. Поэтому ниже мы остановимся на особенностях методики тестирования потенциальной золотоносности и ее использования на конкретных объектах — некоторых гнейсо-гранулит-гранитных комплексах центральной и южной частей Украинского щита.

Результаты исследований

Наши исследования [4,5] показали, что наиболее важную роль при оценке потенциальной золотоносности играют следующие количественные признаки акцессорных минералов: распространение, распределение, коэффициенты концентрации в "безрудных" кварцевых жилах, пегматитах, метасоматитах и других телах исследуемого массива (формации), состав автометасоматических и наложенных ассоциаций, химический состав и генерации.

Распространение. Распространенность акцессорных минералов обычно оценивается частотой их встречаемости. Постоянно и часто встречающиеся акцессорные минералы в определенной мере отражают общие геохимические особенности того или иного гранитоидного или ультрабазит-базитового комплекса или петротипа. В их состав входят магнетит, титаномagnetит, ильменит, сфен, анатаз, гранат, циркон, монацит, апатит, реже пирротин, которые сами по себе, за исключением граната, не дают представления о геохимической специализации массивов. Более четкая зависимость проявляется при анализе типоморфных комплексов акцессорных минералов, установленных для каждого массива или комплекса [4,5].

Дальнейшее рассмотрение частоты встречаемости акцессорных минералов показывает, что в группе редко и очень редко встречающихся находятся такие типично рудные, как галенит, киноварь, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, молибденит, а также содержащие летучие компоненты (флюорит, топаз, турмалин) и некоторые характерные минералы оклорудноизмененных пород (эпидот, барит и другие). Наличие именно этих минералов позволяет дать конкретную оценку металлогенической специализации массивов и комплексов.

Распределение. Основными показателями распределения служат среднее содержание и характеризующие его статистические параметры (дисперсия, коэффициент вариации и другие) [1, 4]. Неоднократно отмечалось, что с увеличением коэффициента вариации среднего содержания элементов возрастала потенциальная рудоносность массивов. Очевидно, это положение можно распространить и на акцессорные минералы. При этом большая дисперсия содержаний акцессориев может выступать как благоприятный поисковый признак.

Абсолютное содержание акцессорных минералов зависит от многих причин. Наряду со спецификой первичного состава, особенностями

процессов магматической дифференциации важную роль играют аутометасоматические и более поздние процессы. При этом в одних случаях содержание акцессорных минералов может увеличиваться, а в других — уменьшаться. В любых случаях величина коэффициента вариации (или дисперсия) будет возрастать. По данным В. В. Ляховича, коэффициент вариации в гранитах может достигать 300% [6]. Если коэффициент вариации больше 300%, то мы имеем дело с процессами позднего изменения в породах. При этом для минералов редких и очень редких (по частоте встречаемости), являющихся "наложенными", эта величина может превышать 1000%. По нашим данным, в измененных гранитоидах и ультрабазит-базитах коэффициент вариации не превышает 500% [2–5]. Примерно такие же коэффициенты характерны для выборок из однотипно измененных пород. В целом для неизмененных и измененных пород указанный коэффициент колеблется от 100 до 300%, а в случае явно "наложенных" минералов — выше 300%.

Анализ распространения и распределения акцессорных минералов показывает, что между частотой встречаемости и коэффициентом вариации существует обратная зависимость. Можно считать, что минералы, характеризующиеся высокой частотой встречаемости и низкими коэффициентами вариации определяют геохимическую специализацию пород, а минералы с низкой частотой встречаемости и высокими коэффициентами вариации — их металлогеническую специализацию [5].

Коэффициенты концентрации. Минеральный состав так называемых "безрудных" жил, метасоматитов и других подобных образований является информативным признаком рудных проявлений данного комплекса или массива. Для оценки этого признака используется коэффициент концентрации акцессорных минералов (K) в "безрудных" жилах и других телах по сравнению с вмещающими породами. Если $K > 1$, то это благоприятный признак, позволяющий ожидать концентрации определенных рудных минералов. Если $K < 1$, то перспективы накопления указанных минералов не благоприятны. В данном случае изучаются акцессорные минералы, которые встречаются как во вмещающих гранитах, так и в "безрудных" проявлениях. Этот признак можно вполне использовать для оценки металлогенической специализации пород. Так при расчетах K в пегматитах, метасоматитах и кварцевых жилах, связанных с автохтонными гранитами Вознесенского массива, были установлены повышенные значения K для некоторых редкометалльных минералов в пегматитах и особенно метасоматитах, что вполне отражает их специализацию. В кварцевых жилах наблюдается заметное накопление гематита, турмалина, халькопирита, пирита. Необходимо отметить, что в кварцевых жилах первого типа преобладают минералы средне- и низкотемпературных стадий гидротермального процесса, а в кварцевых жилах второго типа — в основном минералы низкотемпературной стадии [5].

Еще более четко видны различия при рассмотрении K в соответствующих образованиях аллохтонных гранитов Восьятского массива.

Он показывает, что металлогеническая специализация этого массива обусловлена, главным образом, минерализацией в высокотемпературных образованиях типа метасоматитов и кварцевых жил.

Анализ полученных значений K свидетельствует о том, что величина его в пределах сотых долей характерна для минералов, заимствованных из вмещающих гранитов. Значения K в пределах десятых долей свидетельствуют о возможном новообразовании минералов. Наши данные в основном совпадают с данными В. В. Ляховича по отдельным массивам Приазовского блока УЩ [2, 5, 6].

Анализ состава автометасоматических и наложенных ассоциаций акцессорных минералов. Для решения проблемы выработки критериев прогноза золотоносных формаций наибольший интерес представляет анализ состава наложенных минеральных ассоциаций и, в меньшей мере, автометасоматических [5]. Среди наложенных ассоциаций часто выделяются несколько типов. По происхождению можно выделить наложенные ассоциации, связанные с процессами регионального метаморфизма, а также связанные с гидротермальной и пневматолитово-гидротермальной переработкой пород.

К продуктам регионального метаморфизма относятся эпидотовые и пирротиновые комплексы. Эпидотовый комплекс получил наибольшее развитие в гранитоидах Приднепровья. Кроме эпидота в его состав входят сфалерит, пирит, гематит, рутил и некоторые другие минералы. В целом этот комплекс является продуктом эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Данные о какой-либо существенной рудной специализации, связанной с этим комплексом, отсутствуют. С отдельными типами этих гранитоидов связана наложенная золоторудная минерализация (Мокромосковский комплекс).

Пирротиновые комплексы приурочены в основном к породам эндебитовой и чарнокитовой формаций центральной части щита. Формирование их связывается с метаморфическими процессами гранулитовой фации. Они отнесены к разряду синпетрогенных. Кроме того, пирротин встречается в ультрабазах, где он должен быть отнесен к синпетрогенным, а в некоторых случаях — к автометасоматическим минералам. С ним ассоциирует никелевая, платиноидная и золоторудная минерализация. Помимо этого, пирротин отмечается в составе типичных гидротермальных сульфидных ассоциаций, например в собитах.

Наложённые комплексы гидротермального происхождения можно разделить на несколько групп. Высокотемпературные (пневматолито-гидротермальные) комплексы характеризуются определенным набором редкометалльных и редкоземельных минералов, которые в свою очередь могут быть разделены на несколько подтипов, отличающихся составом минеральных ассоциаций. Так, в гранитоидах можно выделить молибденит-касситеритовую, топаз-монацит-тантало-ниобатовую, турмалин-берилл-топазовую с молибденитом, ксенотимовую, ортитовую и другие. К более низкотемпературным отнесен ряд сульфидных и флюоритсодержащих ассоциаций. Строго говоря, флюорит входит в ряд вышеперечисленных высокотемпературных ассоциаций. Однако

наиболее часто он встречается совместно с галенитом и киноварью. Сульфидные ассоциации имеют довольно пестрый состав и включают: пирротин, пирит, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды и др. Среди жильных минералов — кварц, кальцит, барит и др. Наиболее поздней ассоциацией является флюорит-киноварь-галенит-пиритовая.

Среди наложенных золотосодержащих минеральных ассоциаций гидротермального генезиса выделяются следующие: халькопирит — тетраэдрит — молибденитовая со сфалеритом или галенитом, пиритовая, халькопирит-пирротиновая и арсенопиритовая [4, 5]. Первая связана с гранитоидами центральной части УЩ (вознесенские и трикратские граниты — Ахтовское проявление). Пиритовая ассоциация установлена в Воссиятском массиве и сурском комплексе (Новороссийское и другие проявления золота, связанные с гранитоидами сурского комплекса). Халькопирит-пирротиновая ассоциация связана с гранитоидами бердичевского комплекса (проявление Майское), а также с некоторыми комплексами эндербитовой и гранит-чарнокитовой формаций (например, в Долинском массиве). Арсенопиритовая ассоциация тесно связана с гранитоидами кировоградского комплекса центральной части щита (проявления Кировоградского рудного района), demuри́нского, шевченковского и мокромосковского комплексов в Среднем Приднестровье и анадольского комплекса в Приазовье.

Таким образом, анализ наложенных ассоциаций акцессорных минералов, распространенных в гранитоидных комплексах показал, что потенциально золотоносными формациями гранитоидов УЩ с наложенным золотым оруденением являются эндербитовая, плагиогранитоналитовая и гранит-чарнокитовая формации, а также формация нормальных гранитов начального "прогрессивного" и "регрессивного" этапов ультраметаморфизма (проявления Побужского и Кировоградского рудных районов).

Генерации акцессорных минералов, в первую очередь циркона, также выступают одним из важнейших признаков, используемых для тестирования потенциальной золотоносности докембрийских комплексов. Они должны выделяться и изучаться, в первую очередь, при реконструкции исходного литологического состава золотосодержащих толщ для оценки генетической связи золотого оруденения с вмещающими породами. Наш опыт палеорекострукций золотосодержащих разрезов хатчевато-завальевской свиты бугской серии позднего архея Украинского щита с использованием генерационного анализа акцессорного реликтового циркона показал, что генезис изученных разрезов был первично вулканогенно-осадочный существенно хемогенный [4]. Было установлено, что в пределах Побужского рудного района часть золотоносных площадей локализована в таких метакхемогенных разрезах и, таким образом, следует рассматривать возможность их первично-осадочного хемогенного генезиса. К ним относятся отдельные золотопроявления Савранского, Гвоздавского, Фрунзовского и некоторых других рудных полей.

На основе этих данных составлена схема потенциально золотоносных докембрийских формаций и комплексов центральной и южной частей Украинского щита (рис. 1), которая может служить основой для среднемасштабного прогнозирования и планирования поисковых и поисково-оценочных работ. Общая схема решения вопросов тестирования представлена в таблице.

Литература

1. Носырев И. В. Методические рекомендации по количественно-генетической интерпретации результатов изучения акцессорных минералов: Препр./ Мингео УССР, ЦТЭ (Одесский гос. ун-т им. И. И. Мечникова Минвуза УССР); — К.: 1987. — 81 с.
2. Генерационный анализ акцессорного циркона / И. В. Носырев, В. М. Робул, К. Е. Есипчук, В. И. Орса / Под ред. В. В. Ляховича. — М.: Наука, 1989. — 203 с.
3. Носырев И. В. Онтогенетические аспекты прикладной минералогии // Геология, экономика, методы прогноза, поисков, оценки и разведки МПИ. — Вып. 6. — М.: ВИЭМС, 1990. — 54 с.
4. Драгомирецкий А. В. Золотоносные формации центральной части Украинского щита (закономерности размещения, основы прогноза и поисков, оценка перспектив). — Одесса: Астропринт, 2001. — 228 с.
5. Драгомирецкий А. В. Минералогические признаки и методы их оценки при прогнозировании золотоносных формаций докембрия (на примере Украинского щита) // Мінеральні ресурси України. — 2002. — № 3. — С. 6–11.
6. Ляхович В. В. Редкие элементы акцессорных минералов гранитоидов. — М.: Недра, 1973. — 308 с.



Таблица
Общая схема тестирования потенциальной рудоносности пород по аксессуарным минералам (АМ)

№ п/п	Способы оценки	«Модельные» признаки	«Рабочие» признаки
Для генетически связанной минерализации (сингенетичной)			
1	По составу общих ассоциаций АМ	Общие ассоциации АМ	Частота встречаемости отдельного минерала (W). Среднее содержание (X), дисперсия (σ), коэффициент вариации (V), доверительные интервалы (q_1, q_2), коэффициент концентрации (KK) и другие параметры распределения отдельных АМ
2	По наличию отдельных АМ	Отдельные АМ	Частота встречаемости отдельного минерала (W). Среднее содержание (X), дисперсия (σ), коэффициент вариации (V), доверительные интервалы (q_1, q_2), коэффициент концентрации (KK) и другие параметры распределения отдельных АМ
3	По составу синпетрогенных АМ	Ассоциации синпетрогенных АМ	Частота встречаемости (W) отдельных синпетрогенных генерационных типов АМ. Содержание (C) отдельных синпетрогенных генерационных типов
4	По особенностям химического состава синпетрогенных АМ	Особенности химизма	Особенности химизма
5	По стадийности породообразующего процесса	Характер стадийности выделения АМ в породообразующем процессе	Частота встречаемости (W) отдельных синпетрогенных генерационных типов АМ. Содержание (C) отдельных синпетрогенных генерационных типов

Окончание таблицы

№ п/п	Способы оценки	«Модельные» признаки	«Рабочие» признаки
Для минерализации наложенной и неясного генезиса			
6	По составу наложенных АМ	Ассоциации наложенных АМ	Частота встречаемости (W) отдельных генерационных типов наложенных АМ. Содержание (С) отдельных наложенных генетических типов
7	По частоте встречаемости отдельных АМ	Низкая распространенность отдельных АМ	Частота встречаемости отдельного минерала (W)
8	По величине коэффициента вариации	Крайне неравномерное распределение отдельных АМ	Среднее содержание (X), дисперсия (σ), коэффициент вариации (V), доверительные интервалы (q_1, q_2), коэффициент концентрации (KK) и другие параметры распределения отдельных АМ
9	По величине коэффициента концентрации (KK)	Увеличение KK отдельных минералов	Среднее содержание (X), дисперсия (σ), коэффициент вариации (V), доверительные интервалы (q_1, q_2), коэффициент концентрации (KK) и другие параметры распределения отдельных АМ
10	По особенностям химического состава наложенных АМ	Особенности химизма	Особенности химизма

О. В. Драгомирецький

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
сектор акцесорних мінералів ПНДЛ-1
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

**АКЦЕСОРНО-МІНЕРАЛОГІЧНЕ ТЕСТУВАННЯ ЯК ОДИН
З МЕТОДІВ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЗОЛОТОНОСНОСТІ
ДОКЕМБРІЙСЬКИХ ФОРМАЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОГО
ЩИТА)**

Резюме

В статті розглянуто особливості методики мінералогічного тестування потенційної золотоносності гнейсо-грануліт-гранітних комплексів докембрію. В її основі покладені результати кількісно-генетичної інтерпретації інформації, яка отримана при вивченні акцесорних мінералів магматичних і ультраметаморфічних комплексів Українського щита. Методологічною підставою такого тестування є уява про те, що оцінка потенційної золотоносності будь-яких геологічних об'єктів відноситься до типових так званих "зворотних" задач у геології. При цьому на підставі таких кількісних мінералогічних ознак акцесорних мінералів, як розповсюдженість, розподіл, коефіцієнти концентрації у "безрудних" кварцових жилах, пегматитах, метасоматитах та інших тілах досліджених формацій (масивів), склад автометасоматичних і накладених асоціацій, хімічний склад і генерації можуть бути встановлені провідні геологічні, насамперед, генетичні ознаки золотоносності. Це дає змогу прогнозувати потенційну золотоносність досліджених докембрієвських комплексів з високим ступенем достовірності.

Ключові слова: тестування, акцесорні мінерали, потенційна золотоносність, докембрій, Український щит.

O. V. Dragomyretsky

Metchnikov Odessa National University,
Accessory Minerals Section
Dvoriyanskaya, 2, Odessa, 65026, Ukraine

**THE ACCESSORY-MINERALOGICAL TESTING AS ONE OF
METHODS OF THE ESTIMATION GOLD-ORE POTENTIAL OF
PRECAMBRIAN FORMATIONS (BY THE EXAMPLE OF UKRAINIAN
SHIELD)**

Summary

This article runs about some features of testing method of Precambrian gneiss-granulate-granites complexes gold-ore potential. The testing method basis leans on results of quantitative-genetic interpretation of the information received at studying of accessory minerals magmatic and ultrametamorphogenic complexes of the Ukrainian shield. Methodology of testing is based on the fact that the gold-ore potential estimation of any geological objects is considered as a typical "return" problem in geology. Thus, leading geological (first of all — genetic) signs of gold-ores are fixed on the basis of such quantitative mineralogical signs of accessory minerals, as spreading, distribution, factors of concentration in "un-ore" quartz veins, pegmatite's, metasomatites and other

bodies of researched formations, avtometasomatic and epithermal mineral associations, the chemical composition and generations. It allows carrying out the forecast of gold-ore potential of studied Precambrian complexes.

Keywords: testing, accessory minerals, gold-ore potential, Precambrian, the Ukrainian shield.