© В.А. Ермолов, Т.В. Тищенко, В.В. Гладышев, 2006

УДК 622.34

В.А. Ермолов, Т.В. Тищенко, В.В. Гладышев

КРИТЕРИИ И ГЕОИНДИКАТОРЫ ПРОГНОЗА ОРУДЕНЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 1

Оптимальное направление поисковых, поисково-оценоч-ных и разведочных работ на месторождениях обеспечивается локальным прогнозированием оруденения на основе геологических критериев с количественной оценкой прогнозных ресурсов. Вывод о наличии прогнозных ресурсов основывается на оценке полученных геологических данных, а также геофизических и геохимических аномалий, природа которых установлена, как правило, единичными горными выработками.

Объектами локального прогноза являются рудные поля, месторождения, рудные тела или минерализованные зоны.

При оценке перспектив рудного участка месторождения следует рассматривать характерные черты рудолокализующих структур, первичные ореолы рассеяния, минералогическую зональность в масштабе месторождения, в меньшей мере – магматические и литологические критерии. В данном случае, прогнозирование рудных тел основано, главным образом, на изучении морфологических особенностей рудолокализующих структур (флексурообразных изгибов, узлов сочленений с различными трещинами, экранирующих элементов и других структурных «ловушек»), широко используются минералогические и геохимические критерии.

Таким образом, достоверность прогнозирования оруденения в пределах горных отводов обусловлена конкретными геологическими структурами рудных месторождений и наиболее информативными геологическими критериями оруденения.

Геологические критерии оруденения – это такие геологические факторы, которые прямо или косвенно указывают на возможность наличия или обнаружения в тех или иных условиях в пределах горного отвода полезного ископаемого [5].

В соответствии с закономерностями пространственного размещения месторождений и типами геологических структур можно выделить следующие критерии оруденения в пределах горных отводов: геолого-струк-турные, минералого-петрографичес-кие, геохимические, гидрогеологические и геофизические.

Среди геолого-структурных критериев различают стратиграфические, фациально-литологические, магматогенные, метаморфогенные и тектонические.

Стратиграфические критерии. Многие месторождения полезных ископаемых, а, следовательно, и рудные тела, встречаются в отложениях определенного возраста и не встречаются или редко встречаются в отложениях другого возраста. По присутствию или отсутствию в пределах горного отвода того

или иного стратиграфического горизонта, с которым могут быть связаны тела полезного ископаемого, судят о перспективности оруденения на флангах или глубоких горизонтах месторождения.

Фациально-литологические критерии. Разнообразные формации или фации горных пород характеризуются отложениями определенного литологического состава. Зная, какие фациальные типы распространены на месторождении (осадочные месторождения), а также среди каких или на каких породах залегают гипергенные и гипогенные тела полезных ископаемых, можно обосновать наличие перспективных пластов.

Магматогенные критерии. Под магматогенными критериями понимаются все прямые или косвенные геологические факты, указывающие на взаимосвязь интрузивных пород и тел полезных ископаемых. Установлено, что существует взаимосвязь оруденения с теми или иными фациями магматических пород [6]. Обычно выделяются четыре группы фаций: 1) вулканические и связанные с ними субвулканические тела; 2) тела гипабиссальных пород, к числу которых относятся также малые интрузии; 3) интрузивные тела средних глубин; 4) абиссальные интрузивы, чаще всего докембрийские.

Рудные тела полезных ископаемых могут располагаться внутри интрузивных массивов, в зоне эндо- и экзоконтакта, в кровле интрузивов на малом удалении от контактов, в кровле интрузивов на значительном удалении от контактов (до сотни и более метров), вне видимой связи с интрузиями.

Метаморфогенные критерии. Некоторые месторождения полезных ископаемых возникают в результате процессов метаморфизма (метаморфогенные), другие подвергаются различным преобразованиям в процессе метаморфизма (метаморфизованные) [7]. Метаморфические и метаморфизованные месторождения обладают специфическими отличиями в составе, строении, условиях залегания и особенно в характере и степени метаморфизма вмещающих пород. Поэтому некоторые проявления метаморфизма на месторождении могут служить основанием для предположения о выявлении соответствующих полезных ископаемых в пределах горного отвода.

Тектонические критерии относятся к числу важнейших факторов, характеризующих закономерности размещения тел полезных ископаемых, поскольку являются рудоподводящими и рудораспределяющими каналами [6]. При локальном прогнозе оруденения изучение тектонических нарушений (дорудных, внутрирудных и послерудных) способствует выяснению морфологических особенностей рудных тел, позволяет находить смещенные части тел полезных ископаемых, а также прогнозировать наличие минерализованных зон в пределах выявленных и предполагаемых нарушений.

Минералого-петрографические критерии предусматривают изучение минерального состояния месторождений с целью установления закономерностей сочетания совместно образующихся минералов и закономерной смены парагенетических ассоциаций минералов в соответствии с комплексами генетически связанных горных пород. Ассоциации химических элементов и минералов с различными горными породами (интрузивными) и фациальными условиями приведены в табл. 1.

Изменения вмещающих пород. Зоны изменения пород, совмещенные с первичными ореолами рассеяния,

являются достаточно надежными критериями оруденения в пределах горного отвода.

Серпентинизация – изменение ультраосновных пород в результате развития серпентина по оливину, пироксену и т.д. Вызывается, главным образом, автометаморфизмом ультраосновных и основных пород, а также воздействием на них гидротермальных растворов. С серпентинитами часто связан хризотил-асбест, особенно на контакте серпентинизированных массивов ультраосновных пород с породами кислой магмы.

Лиственитизация заключается в изменении ультраосновных и основных пород под влиянием гидротермальных растворов. В результате образуются тальково-карбонатные лиственитизированные породы и листвениты, т.е. кварцево-карбонатные породы со светлой слюдой и примесями гематита, пирита и др. Листвениты могут служить указанием на золоторудные и кобальто-медные проявления, находящиеся среди ультраосновных и основных пород.

Карбонатизация – совокупность процессов, приводящих к развитию карбонатов в породах, рудах и минералах. Характерна для боковых пород золоторудных, медных и полиметаллических руд.

Хлоритизация типична для пород ультраосновного, основного и реже среднего и кислого состава. Из большого числа хлоритовых пород представляют интерес следующие разновидности, образованные в результате гидротермальных процессов:

1) мономинеральные хлоритовые породы, образующие оторочки вокруг некоторых колчедановых сульфидно-касситеритовых, свинцово-цинковых и хромитовых рудных тел;

2) кварцево-хлоритовые породы, являющиеся вмещающими многих сульфидно-касситеритовых, реже медноколчеданных и полиметаллических месторождений;

3) серицит-хлоритовые породы с кварцем или без кварца, распространенные в колчеданных, а также в некоторых полиметаллических и медных месторождениях;

4) турмалин-хлоритовые породы, часто с кварцем, характерные для касситерит-сульфидных месторождений;

5) биотит-хлоритовые породы с кварцем или без кварца, часто связанные с разными жилами колчеданных и медных руд.

Пропилитизация выражается в замещении первичных минералов зпидотом, хлоритом, кальцитом, серицитом, цеолитами и другими с одновременным образованием пирита, а также в альбитизации полевых шпатов. Может служить указанием на возможное проявление на месторождении золота, серебра.

Грейзенизация заключается в пневматолитово-гидротермальном изменении кислых и других пород, которые преобразуются по существу в новые породы, называемые грейзенами, Основные изменения заключаются в том, что полевые шпаты первичной породы замещаются кварцем и светлой слюдой (чаще литиевой). Грейзенизация пород может указывать на наличие руд олова, вольфрама, реже молибдена, мышьяка, висмута и еще реже - меди.

Турмалинизация - процесс образования турмалиновых и кварцево-турмалиновых пород под воздействием гидротермальных растворов на первичные породы. С зонами измененных пород могут быть связаны на месторождении проявления олова, реже меди, золо-

та, мышьяка, свинца, цинка, вольфрама, молибдена и кобальта,

Березитизация заключается в изменении гранитов, гранит-порфири-тов, кварцевых порфиров под влиянием гидротермальных растворов в своеобразные породы березиты. Наличие березита и березитизированных пород может служить указанием на золоторудные жилы, реже на молибденовые и вольфрамитовые тела, еще реже - на полиметаллические и медные проявления.

Серицитизация - процесс замещения плагиоклазов, калиевых полевых шпатов, цветных и других минералов в породах серицитом. Серицитизация происходит при автометаморфизме, воздействии на породы гидротермальных растворов. Серицитизированные породы, как критерии оруденения, могут быть использованы на сульфидных месторождениях различных металлов, а также на месторождениях золота, флюорита и нерудных полезных ископаемых, связанных с вторичными кварцитами.

Вторичные кварциты – породы гидротермально-метасоматического происхождения, состоящие из кварца (преобладает), серицита, алунита, пирофиллита, каолинита, андалузита и диаспора. Возникают за счет кислых, реже средних магматических пород и очень редко за счет некоторых осадочных и метаморфических пород под воздействием на них гидротермальных растворов, С вторичными кварцитами часто связаны нерудное глиноземное сырье (андалузит, каолинит, алунит), а также золотые, медно-молибденовые, полиметаллические и медно-колчеданные руды,

Каолинитизация - процессы разложения алюмосиликатов при воздействии кислых вод, преимущественно содержащих углекислоту, а иногда гуминовую или серную кислоту и фтористый водород, Наличие крупных участков каолинитизированных пород может указывать на присутствие древней латеритной коры выветривания, с которой связаны многие полезные ископаемые.

Окварцевание - процесс метасоматического замещения пород или выполнения в них пустот и трещин кварцем или кремнем. Окварцованные породы сопровождают руды сурьмы, ртути, свинцово-цинковые и др.

Алунитизация - изменение эффузивных и туффовых пород среднего и кислого состава под воздействием гидротермальных растворов, выражающееся в метасоматическом развитии алунита. С зонами алунитизированных пород может быть связано золотое, медное и полиметаллическое оруденение.

Скарны - породы, состоящие из граната, пироксенов и некоторых других известково-железистых силикатов, возникшие в результате высокотемпературного метасоматоза карбонатных и реже силикатных пород. Со скарнами связаны рудные залежи многих полезных ископаемых (железные, медные, свинцово-цинковые, вольфрамовые; молибденовые, золотые, кобальтовые, мышьяковые, оловянные и др.).

Баритизация – процесс замещения карбонатных и других пород (известняки, доломиты, туфы и пр.) метасоматическим и жильным баритом под воздействием низко- и среднетемпературных гидротермальных растворов. С измененными породами часто связаны свинцово-цинковые, сурьмяно-ртутные, полиметаллические и колчеданные рудопроявления.

Доломитизация - процесс замещения кальцита доломитом, приводящий к превращению известняков в доломитизированые известняки и доломиты. Может служить указанием на возможное нахождение свинцово- цинкового ору-

денения, проявлений барита и флюорита, железных руд.

Эффективность прогноза с использованием минералого-петрогра-фических критериев зависит от достоверности и надежности сведений обо всех этапах и стадиях дорудных, сорудных и пострудных процессов, об источниках энергии, флюидов и рудного вещества, о механизме рудообразования и типоморфных признаках руд, Использование наиболее информативных для выявления кристаллизации, метаморфизма или седиментогенеза минералов таких характеристик, как форма и размеры зерен, строение их границ друг с другом и разноименными минералами, степени стехиометричности, совершенства и дефектности структуры, состава и количества элементов примесей, вместе с данными экспериментальных исследований дает возможность определения всех этапов генезиса руд, создает основу методологических критериев локального прогноза конкретных минеральных типов иуд с присущими им попутными компонентами и характерными технологическими свойствами.

Геохимические критерии связаны с поведением химических элементов в земной коре. Доказано, что многие элементы, давая повышенные содержания в различных породах, образуют обычно в тех же породах данного района месторождения соответствующих элементов и минералов [4]. Это подтверждено на практике данными в отношении поведения олова, меди, никеля, кобальта, редких и редкоземельных элементов.

Для прогноза оруденения в пределах горного отвода, в качестве важнейших геохимических критериев могут быть: 1) геохимическое родство или тождество элементов-примесей в цветных и акцессорных минералах собственно интрузивных и схизолитовых пород интрузива с одной стороны, и элементов-примесей в соответствующих минералах постмагматического происхождения - с другой; 2) сходство изотопического состава некоторых элементов руд и пород, слагающих геологические тела,

Для прогноза оруденения в пределах горного отвода целесообразно использовать первичные и вторичные геохимические ореолы [1].

Критериями для выделения геохимической аномалии служат особенности распределения одного или нескольких микроэлементов, характеризующие определенный тип рудных месторождении, микроэлементы, распределение которых в тех или иных типах природных образований может быть использовано в качестве критерия для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, выделяются в качестве элементов-инди-каторов оруденения. При геохимических поисках и разведке рудных месторождений обычно такими индикаторами служат элементы, концентрирующиеся в рудах данного типа месторождений, а также наиболее характерные микроэлементы-спутники рудной минерализации, В данном случае, элементы, концентрирующиеся в рудах, являются *прямыми индикаторами* оруденения, а элементы-спутники выделяются в группу *косвенных индикаторов.*

Набор элементов первичных ореолов (табл. 2), как правило, многокомпонентный.

Различают надрудные (над рудным телом), верхнерудные (на уровне верхнерудного сечения рудного тела), рудные (на уровне оптимального сечения рудного тела), нижнерудные (на уровне нижнего выклинивания рудного тела) и подрудные первичные ореолы. В силу различной подвижности

Таблица 2

Элементный состав первичных ореолов

Тип месторождения	Элементный состав
Редкометальные пегматиты	Li, Rb, Cs, Nb, Sn, Ta, W, Be, As, F, B
Медно-никелевый	Cu, Ni, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, An, Be, W, I, Br
Медно-колчеданный	Ba, Ag, Pb, Cd, Zn, Bi, Cu, Co, Mo, As, Hg, I, Br
Вольфрам-молибден-вольфрамовый в скарнах	Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, W, Mo, Co, Ni, Be, B
Оловорудный	Sn, Pb, As, Cu, Bi, Zn, Ag, Mo, Co, Ni, W, B, F, I
Полиметаллический в скарнах	Ba, As, Sb, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Ni, Co, Mo, Sn, W, Be, B, I
Золоторудный	Ba, Au, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Mo, Cu, Bi, Co, Ni, W, Be, I
Медно-порфировый	Ba, Au, Sb, Ag, Pb, Zn, Au, Bi, Cu, Mo, Sn, Co, W, Be, I
Медный	Sr, Ba, As, Pb, Zn, Ag, Sn, Cu, Bi, Co, Ni, Mo, Hg, I
Медно-молибденовый	Cu, Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, Ni, Be, W
Полиметаллический	Cd, Ba, Sb, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Co, Sn, W, Sr, Hg, I
Урановый	U, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Ni, V, As
Стратиформный свинцово-цинковый	Ba, Sb, Hg, As, Cu, Ag, Zn, Pb, Be, Co, Ni, W, Sn
Сурьмяно-ртутный	Ba, Sb, Hg, As, Cu, Ag, Zn, Pb, Be, Co, Ni, W, Sn
Ртутный	Sb, Hg, Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sn, Mo, W, As
Общий перечень элементов-индикаторов	Li, Rb, Cs, Hg, Au, U, Ta, Sn, W, Be, Ba, Cd, Ag, Pb, Zn. Cn, Cu, Mo, Co, Ni, As, Sb, Sr, Nb, V, Mn, Zr, F, B, I, Br

элементов при формировании первичных ореолов рудных тел месторождений и в конкретной природной обстановке возникает зональность ореолов.

В табл. 3 и 4 приведены ряды зональности элементов-индикаторов различных рудных месторождений.

Сравнение величины коэффициентов зональности для первичных ореолов служат основанием для заключения об уровне эрозированности одного ореола по сравнению с другим в рамках одной формации и одного геохимического типа месторождения или рудного поля.

При сравнении первичных ореолов необходимо знать величину их контрастности, которая для одной и той же формации, одного и того же минерального и геохимического типа оруденения конкретно рассматриваемого объекта измеряется величиной К:

$$K = \frac{Ca_{\max}}{Ca_{\min}}, \qquad (3)$$

где K - коэффициент контрастности; $Ca_{\max}$ - максимальное аномальное и $Ca_{\min}$ - минимальное аномальное содержания элемента в контуре аномального первичного ореола.

Для отделения рассеянной минерализации от рудной концентрации пользуются контрастностью ореолов. Для зон рассеянной минерализации ореолы характеризуются слабой контрастностью, слабой дисперсией сред-них содержаний, рассчитанной методом скользящего окна, слабой корреляционной связью элементов-индика-торов оруденения. Зоны рудной концентрации выявляются по интенсивной контрастности первичных ореолов, по высокой дисперсии содержаний элементов в аномальном контуре, в

Таблица 3

Ряды зональности элементов-индикаторов различных по составу рудных месторождений

Тип месторождений	Ряды зональности основных элементов-индикаторов
Медно-никелевые:	
кольского типа	Co- Ni- Cu- Zn- Pb- (Ag, Ba)
норильского типа	Co- Ni- Cu- (Ag, Mo)- Ba- Pb- (Ti, Sn, Zr)
Редкометальные пегматиты	W- Nb- Na- Sn- Cs- Rb- Li- As
Вольфрамовые:	
скарново-шеелитовые	W- Ba- Sn- (Bi, Mo)- Zn- (Pb, Ag)
грейзеновые	Be- Sn- Bi- W - (Zn, Pb, Cu)
кварц-гюбнеритовые	Bi- (Sn, Be)- Co- W- Zn
кварц-шеелитовые	(W, Mo, Bi)- Be- Sn- Ag
Оловорудные:	
кварц-касситеритовые	(As, Be, W)- B- Sn- Cu- (Zn, Ag, Pb)
сульфид-касситеритовые	(W, Mo, As, Co)- (Zn, Cu)- (Zn, Ag, Pb)
Медно-колчеданные	Mo- Co- As- Cu- Zn- Pb- Ag- As- Ba
Полиметаллические:	
скарновые	Sr- (W, Mo)- Co- Bi- Cu- Zn- Pb- Ag- (Sb, As)- Ba- I
жильные	W- As- Sn- Co- Bi- Cu- Zn- Pb- Ag- As- Ba- I
Золоторудные:	
высокотемпературные	(Be, W, Au, As, Ni, Co)- Cu- Zn- (Pb, Au, As, Sb)
среднетемпературные	(Co, W, Be)- Bi (Sn, Mo)- Cu- Au- Zn- Pb (Ag, As)
низкотемпературные	(W, Bi, Sn)- Mo- (Cu, Zn)- Pb- Au- Ag- (As, Sb)- Be- Hg
Медно-порфировые	(B, W, Co, Sn)- (Mo, Cu)- Bi- Au- (Zn, Pb, Ag) Sb- As-Ba- I
Медные (жильные)	Ni- Co- Bi- Cu- (Sn, Ag)- Zn- Pb- Ag- Ba- I
Урановые (настурансульфидной формации)	Mo- Cu- Zn- Pb- Ag
Стратиформные свинцово-цинковые	Be- Ni- Co- Zn- Pb- Ag- Cu- As- Ba
Ртутные	Be- Ni- Co- Zn- Pb- Ag- Cu- As- Ba
Сурьмяно-ртутные	(Ni, Co, W)- Mo- Cu- Zn- Pb- Sn- Ag- (Sb, As)- Hg

котором корреляционные связи элементов-индикаторов обычно положительны с высоким уровнем значимости.

На стадиях предварительной, детальной эксплуатационной разведки с помощью первичных ореолов производятся глубинная оценка флангов рудных тел месторождений, поиски слепого оруденения, уточнение морфологии рудных тел и т.д.

Гидрогеохимические критерии оруденения. Вода обладает универ-сальной способностью в тех или иных количествах растворять из природных соединений и переносить на значительные расстояния большинство химических элементов. Благодаря этому воды, соприкасающиеся с рудными концентрациями (рудными телами и их геохимическими ореолами), обогащаются химическими элементами, типоморфными для руд. При этом вокруг рудных концентраций формируются общие зоны, в которых подземные воды содержат повышенные количества различных рудных компонентов. Подобные зоны в практике называют *водными ореолами* рассеяния химических элементов.

Выявление постоянно сопровождающих рудопроявления водных орео-

Таблица 4

Первичная зональность первичных ореолов

Тип месторождения	Ряды поперечной зональности
Свинцово-цинковые в скарнах	Zn -Pb- As- Ag- Cu- Sb
Свинцово-цинковые жильные	Pb- Ba- Zn- Ag- Cu- As- Co
Шеелитовые в скарнах	W- Mo- Cu- Ba- Zn- Pb
Кварц-золоторудные	Au- As- Bi- Ag- Pb- Cu- Be- Mo- Co- Zn
Медно-порфировые	Au- Cu- Mo- Ag- As- Sb
Медно-молибденовые	Cu- Mo- Zn- Pb- Co- Ni- Sn- Be- W- Bi- As- - Ba- Ag
Медно-висмутовые	Cu- Bi- Pb- Ag- Ba- Zn- Co
Сульфидно-касситеритовые	Sn- Cu- Ag- Zn- Pb- As- W
Кварц-касситеритовые	As- W- Ag- Sn- Cu- Zn- Pb
Урановые	U- Mo- Pb- Cu- Zn- Ag
Ртутные	Hg- As- Ba- Cu- Pb- Zn- Ni- Co
Стратиформные свинцово-цинковые	Ag- Pb- Cu- As- Ba- Co- Zn- Ni

лов рассеяния элементов-индика-торов позволяет локализовать площади, перспективные на рудные тела на флангах и глубоких горизонтах разрабатываемых месторождении полезных ископаемых, К настоящему времени доказана целесообразность применения гидрогеохимических критериев на месторождениях бора, бериллия, лития, фтора, цезия, вольфрама, урана и др. Однако с наибольшей эффективностью они могут быть использованы на собственно сульфидных месторождениях, вокруг которых образуются обширные водные ореолы рассеяния химических элементов, образующихся в результате растворения легкоокисляющихся руд.

Размеры водных ореолов рассеяния вокруг интенсивно окисляющихся рудных залежей изменяются от 0.3-0.5 до 3.0 км. В табл. 5 приведены наиболее типичные гидрогеохимические ассоциации элементов-индика-торов, характерные для водных ореолов месторождений рудноминерального сырья.

Необходимо отметить, что движение подземных вод по водопроницаемым пластам, трещинам и разломам может ждать косвенное указание на присутствие пластов какого-либо полезного ископаемого, а выходы источников, расположенных на одной линии, на наличие разлома, который в свою очередь указывает на возможность концентрации каких-либо руд.

Геофизические критерии оруденения. Поскольку геологические критерии оруденения представляют собой факторы, прямо или косвенно указывающие на возможность обнаружения или наличия в данных условиях полезного ископаемого, то значительное число геофизических аномалий не является критериями оруденения. Многие геофизические аномалии являются ложными, т.е. вызываются не телами полезных ископаемых (или структурами), а причинами, совершенно не связанными с оруденением. Поэтому все геофизические аномалии требуют геологической проверки.

В качестве геофизических критериев могут быть использованы: магнитные, электрические свойства горных пород и руд, естественная радиоактивность, плотность и т.д.

Развитие моделей и методов локального прогнозирования в условиях эксплуатируемых месторождений состоит в создании объемных графо-

Таблица 5

Элементы-индикаторы различных по составу месторождений

Тип месторождения	Элементы-индикаторы рудных тел	
	интенсивно-окисляющихся	слабоокисляющихся
Медноколчеданное	Cu, Zn, Pb,A s, Ni, Co, F, Cd, Se, Ge, Au, Ag, Sb	Zn, Pb, Mo, As, Ge, Se, F
Полиметаллическое	Pb, Zn, Cu, As, Mo, Ni, Ag, Cd, Sb, Se, Ge	Pd, Zn, As, Mo, Ni
Молибденовое	Mo, W, Pb, Cu, Zn, Be, F, Co, Ni, Mn	Mo, Pb, Zn, F, As, Li
Вольфрам-бериллиевое	W, Mo, Zn, Cu, As, F, Li, Be, Rb	W, Mo, F, Li
Ртутно-сурьямяное	Hg, Sb, As, Zn, F, B, Se, Cu	Ag, As, Zn, B, F
Золоторудное	Au, Ag, Sb, As, Mo, Se, Pb, Cu, Zn, Ni, Co	Ag, Sb, As, Mo, Zn
Оловорудное	Sn, Nb, Pb, Cu, Zn, Li, F, Be	Sn, Li, F, Be, Zn
Титано-магнетитовое	Ti, Fe, Ni, Co, Cr	Ni, Fe
Сподуменовое	Li, Rb, Cs, Mn, Pb, Nb, Sr, F, Ga	Li, Rb, Cs, F
Медно-никелевое	Ni, Cu, Zn, Co, Ag, Ba, Sn, Pb, U	Ni, Zn, Ag, Sn, Ba
Бериллиево-флюоритовое	Be, F, Li, Rb, W	Be, F, Li
Барито-полиметаллическое	Ba, Sr, Cu, Zn, Pb, As, Mo	Ba, Sr, As, Mo

аналитических моделей месторождений и рудных полей, отражающих поведение не только отдельных интересующих геологов параметров, но и сопутствующие явления литолого-фациалъного, магматического, метаморфического, структурно-тектони-ческого, геохимического, гидрогеохимического и геофизического характера. Исследование имитационных моделей данного типа (по сути модели искусственного интеллекта) обеспечит возможность многовариантного моделирования геологоразведочного процесса и оценки месторождений при различных горно-геологических условиях и в итоге – разработку оптимальной стратегии промышленного освоения месторождений рудоминерального сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорян С.В., Морозов И.И.* Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. – М.: Наука, 1985.
2. *Ермолов В.А.* Геолого-экологическое моделирование пространственно-качествен-ной структуры месторождений полезных ископаемых. – М.: Геология и разведка - № 5, 1997.
3. *Овчинников Л.Н.* Прогноз рудных месторождений. - М.: Недра, 1992.
4. *Питулько В.М.* Основы интерпретации поисковой геохимии - Л.: Недра, 1990.
5. *Принципы* прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых/ Под ред. В.Т. Покалова. – М.: Недра, 1984.
6. *Свирский М.А., Чумаченко Н.М., Афонин Б.А.* Рудничная геология. – М.: Недра, 1986.
7. *Смирнов В.И.* Геология месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1989.
8. *Харченков А.Г.* Принципы и методы прогнозирования минеральных ресурсов. – М.: Недра, 1987.

Коротко об авторах

Ермолов В.А. – профессор, доктор технических наук,
Тищенко Т.В. – доцент, кандидат технических наук,
Гладышев В.В. – аспирант,

Московский государственный горный университет.