

КОМИТЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НЕДР
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО (ВСЕГЕИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ
ИЗУЧЕНИЮ
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ
ОБРАЗОВАНИЙ
ПРИ ГСР-50 С ОБЩИМИ ПОИСКАМИ

Санкт-Петербург · 1992

Минеральные ассоциации кварц-светлослюдистой группы

Ряды ассоциаций, их структурные и вещественные особенности			Ассоциации		
индекс ряда	структуры	размеры и дупре-ломление слюды	минералы-индикаторы	однородные псевдоморфного облика	неоднородные псевдоморфно-автоморфного облика
I	Скрыто-мелкокристаллические	HSer $< 0,01 \text{ мм}$ $0,003 - 0,010$	Ka	Q + HSer + Ka Аргиллизитовая — Ар	Q + HSer + (Chl + Cc + Ab) Гидросерпичит-брезилитовая — Бр
II	Мелко-среднекристаллические	Ser $0,0 \text{ мм}$ $0,010 - 0,030$	Alp, Cgp, And	Q + Ser Вторичнокварцитовая — Вк Q + Ser + Ka Каолинит-вторичнокварцитовая — Вк ₁ Q + Ser + Ms Мусковит-вторичнокварцитовая — Вк ₂	Q + Ser + (Chl + Cc + Ab + KFsp) Серпичит-брезилитовая — Бр
III	Средне-крупнокристаллические	Ms $> 0,1 \text{ мм}$ $0,030 - 0,054$	Top	Q + Ms Грейзеновая — Гр	Q + Ms + (Fsp + Chl + Cc) Брезилито-грейзеновая — Бм

Минеральные ассоциации темноцветной группы

Ряды ассоциаций, их структурные и вещественные особенности			Ассоциации	
индекс ряда	структура	индикаторные характеристики минералов	однородные псевдоморфного облика	автоморфно-псевдоморфного облика
I	Скрыто-мелкокристаллические	↑ Степень гидратированности железно-кальций-магнезиальных минералов ↑ Железистость эпидота ↓ Железо-кальций-магнезиальные минералы ↓ Преимущественные формы выделения ↓ автоморфные	Chl Хлорит-пропилитовая — Пх Er + Chl Хлорит-пропилитовая — Пх	Er + Chl + Fsp Полевошпат-хлорит-пропилитовая — Ппх Er + Chl + Ab Альбит-хлорит-пропилитовая — Ппх ₁ Er + Act + Fsp + (Bt) Полевошпат-актинолит-пропилитовая — Ппа Er + Act + Ab Альбит-актинолит-пропилитовая — Ппа ₁ Er + Act + Fsp + (Gr + Ep) Полевошпат-скарновая — Сп
II	Мелко-среднекристаллические	Act Железо-кальций-магнезиальные минералы	Er + Act Актинолит-пропилитовая — Па	Er + Act + KFsp Калишпат-актинолит-пропилитовая — Ппа ₂ Er + Act + Fsp + (Gr + Ep) Полевошпат-скарновая — Сп
III	Средне-крупнокристаллические	Ry Железо-кальций-магнезиальные минералы	Ry + Amf + (Gr + Ep) Скарновая — Ск Dip + Shp + For Магнезиально-скарновая — Ск ₂	Ry + Amf + Fsp + (Gr + Ep) Полевошпат-скарновая — Сп Amf + Ry + Pl Плагиоклаз-скарновая — Сп ₁ Amf + Ry + Pl + KFsp (Ab) Калишпат-скарновая — Сп ₂

Минеральные ассоциации полевошпатовой группы

Ряды ассоциаций, их структурные и вещественные особенности			Ассоциации	
индекс ряда	структуры	темноцветные минералы	содержание Na в калишпате (%)	
			однородные автоморфного облика	неоднородные псевдоморфного облика
I	Мелкокристаллические	Chl, Hm	Хлорит-фельшпатитовая — Фх	Хлорит-фельшпатитовая — Флх
			Ab + Chl + (Cc + Q) Хлорит-альбититовая — Фх ₁	Ab + Q + Chl + (Cc) Хлорит-альбитовая — Флх ₁
II	Мелко-средне-кристаллические	Act, Bt	Фсп + Act + (Q) Актинолит-фельшпатитовая — Фа	Фсп + Q + Act + (Bt) Актинолит-фельшпатитовая — Фла
			Ab + Act + (Q) Актинолит-альбитовая — Фа ₁	Ab + Q + Act Актинолит-альбитовая — Фла ₁
III	Средне-крупнокристаллические	Rib, Eg, Bt	Фсп + Rib + (Eg + Bt + Q) Щелочноамфибол-фельшпатитовая — Фщ	Фсп + Q + Bt Биотит-фельшпатитовая — Флб
			Ab (KFsp) + Rib + (Eg + Q) Щелочноамфибол-альбитовая — Фщ ₁	Ab (KFsp) + Q + Bt Биотит-альбитовая — Флб ₁

Отличительные признаки рядов гидротермально-метасоматических образований породного уровня

Индекс ряда	Признаки						
	общие	групповые			дополнительные		
		структура	кварц-светлослюдистая	темноцветная	полевошпатовая	минералы	структурные особенности
I	Скрыто-мелкокристаллическая [$<0,01-0,1$ мм]	Гидросерпентин	Каолинит	Железистый эпидот	Хлорит	Щеолиты, барит, алунослойные минералы	Концентрически-зональные, радиально-лучистые, тонкодисперсные скопления
II	Мелко-среднекристаллическая [0,01—1,0 мм]	Серпентин	Диапор, корунд, андалузит	Актинолит	Маложелезистый эпидот	Аршиновит	Жильные, зональные образования, друзы
III	Средне-крупнокристаллическая [0,1—>1,0 мм]	Мусковит	Топаз	Клинозит (цоизит)	Щеолит, амфибол, пироксен, биотит	Малакон	Массивные метасоматические структуры с хорошо индивидуализированными кристаллами

I. Скрыто-мелкокристаллические ассоциации с колломорфными структурами, структурами закономерных сростаний и другими, содержащие в качестве минералов-индикаторов гидросерицит, каолинит, другие глинистые или смешаннослойные минералы, хлориты, землистый железистый эпидот, цеолиты, барит, алуниит, опал, халцедон, адуляриит, колломорфные сульфиды. К этому ряду относятся многие аргиллизиты, гидросерицитовые березиты, хлоритовые пропилиты, цеолититы, эйситы, калишпатофиры, альбитофиры и тому подобные ГМ образования, формирующиеся в приповерхностных условиях эпи-телезоны сферы гидротермальной деятельности на оптимальных глубинах до 0,5—2 км, в интервале температуры от 50—100 до 200—300 °С.

II. Мелко-среднекристаллические ассоциации с минералами-индикаторами (серицит, диаспор, пиррофиллит, андалузит, актинолит, маложелезистый эпидот, биотит, турмалин, разнообразные сульфиды). В этот ряд входят вторичные кварциты и филлизиты, серицитовые березиты, актинолитовые пропилиты, амфиболсодержащие калишпатиты и альбититы, некоторые разновидности фельдшпатоцитов, формирующиеся в мезозоне гидротермальной деятельности на оптимальных глубинах 3—4 км, в интервале температуры от 200—300 до 300—400 °С, в отдельных случаях и при более высоких температурах.

III. Средне-крупнокристаллические ассоциации с минералами-индикаторами: мусковит, топаз, амфиболы и пироксены (в том числе щелочные), гранаты, цоизит, клиноцоизит, везувиан, магнетит и т. п. Типоморфными метасоматитами этого ряда являются грейзены, скарны, фениты, щелочноамфиболовые альбититы и калишпатиты, апогранитные фельдшпатоциты, сформированные в гипозоне гидротермальной деятельности в интервале глубин до 5—6 км и более при температуре от 300—400 до 600—900 °С.

Перечисленные ряды охватывают всю сферу гидротермальной деятельности от уровней ультраметаморфизма и кристаллизации расплавов до субаэральной или субаквальной поверхности. В совокупности с выделенными группами статистически устойчивых ассоциаций это позволяет дать относительно полную классификацию фоновых ГМ образований (табл. 5). Количественные соотношения в статистически устойчивых минеральных ассоциациях иллюстрирует диаграмма (рис. 1).

1.2.2. Ореольные и рудные гидротермально-метасоматические образования

Как уже отмечалось, общая масса ореольных и рудных ГМ образований по сравнению с фоновыми значительно меньшая, существенно мельче и размеры гидротермальных тел, представ-

ленных этими образованиями, хотя степень замещения исходной породы обычно большая, чаще встречаются тела выполненные. Но главное отличие заключается в исключительно большом разнообразии видов ореольных и рудных ГМ образований. Во многих случаях их систематика базируется на видах фоновых гидротермалитов с добавлением в название минерала, определяющего отнесение к ореольным или рудным образованиям. Например, флюоритовый грейзен, касситеритсодержащий грейзен, турмалинсодержащий грейзен, турмалиновый березит и т. п. В остальных случаях названия строятся по набору типоморфных минералов. Например, вольфрамит-кварцевый агрегат (ассоциация, порода), галенит-кальцитовая жила и т. п.

Обнаружение таких образований при ГСР-50 является важнейшим моментом общих поисков и требует проведения дополнительных специальных исследований после их обнаружения. Это же положение относится к нахождению полно проявленных метасоматитов или жил некоторых фоновых ГМ образований внемасштабных размеров. Объектом специального картирования при ГСР-50, как уже отмечалось выше, являются измененные породы, содержащие вкрапленность преимущественно фоновых ГМ образований, диагностика которых требует некоторых пояснений.

1.2.3. Диагностика гидротермально измененных пород

Целью диагностики является установление видовой принадлежности гидротермально-метасоматических составляющих измененных пород, выявление эпигенетической статистически устойчивой ассоциации, соотнесение ее с классификационными, таксономически охарактеризованными выше.

Макроскопическая диагностика гидротермально измененных пород, как правило, не позволяет достичь поставленной выше цели, особенно по отношению к слабо измененным породам, которые преобладают на площадях проведения ГСР-50. Только после выполнения тщательных наблюдений под микроскопом по всей территории изучаемого района могут быть выработаны местные макропризнаки тех или иных разновидностей гидротермалитов.

Результаты петрографических наблюдений под микроскопом являются главными при выделении статистически устойчивых эпигенетических минеральных ассоциаций в геологических телах, сложенных магматическими, осадочными или метаморфическими породами. При этом фиксируется весь набор эпигенетических минералов, устанавливаются структурные отношения между ними, оценивается степень замещения исходной породы (суммарное содержание эпигенетических минералов в объемных процентах). Все это позволяет установить статистически устой-

Структурно-вещественная классификация гидротермально-метасоматических пород (гидротермалитов) Таблица 5

Ряды, их структурные и вещественные особенности	Группы, подгруппы						полевощпатовая	
	Названия граф*	кварц-светлослюдистая		темноцветная		однородная	неоднородная	неоднородная
		однородная	неоднородная	однородная	неоднородная			
I. Скрыто-мелкокристаллические структуры; минерально-индикаторы: гидросерцит, каолинит, смешанно-слоистые минералы, хлорит, железистый эпидот, цеолиты, барит, адулар, опал, халцедон, адуляры, колломорфные сульфиды	1	Q + HSer + Ka	Q + HSer + (Chl + Ab + Cc)	Ep + Chl	Ep + Chl + Fsp	Fsp + Chl + (Cc + Q)	Fsp + Q + (Hm + Chl + Cc)	
	2	Аргиллизитовая	Гидросерцит-березитовая	Хлорит-пропилитовая	Полевощпато-хлорит-пропилитовая	Хлорит-фельдшпатовая	Хлорит-фельдшпатовая	
	3	Аргиллизит	Березит гидросерцитовый	Пропилит-хлоритовый	Пропилит-полевощпато-хлоритовый	Фельдшпатит (калишпатит, альбитит) хлоритовый	Фельдшпатит (калишпатит, альбитит)	
	4	Агальматолит, гидросерцитолит, ...	Амдермит, ...			Эйсит, гумбейт, адулярит, ...	Калишпатофир, альбитофир (?), фельдшпатофир, ...	
	5	Аргиллизитовиды: опалит, лиственит, тальк-кварц-карбонатный, гидросерцит-карбонатный метасоматит, ...	Пропилитовиды: эпидозит, пумпеллит-прениловый, калишпат-прениловый, цеолит-карбонатный, карбонат-серцит-хлоритовый метасоматит, ...			Фельдшпатовиды: апатит-хлорит-карбонатный, апатит-аршиновитовый метасоматит, ...	Фельдшпатовиды: спилит, поенцит, ...	
6	Ар	Бг	Пх	Ппх	Фх	Флх		

II. Мелко-среднекристаллические структуры; минерально-индикаторы: серцит, диаспор, пирофилит, корунд, андалузит, актинолит, эпидот, маложелезистый, биотит, турмалин, роговая обманка, разнообразные сульфиды

1	Q + Ser	Q + Ser + (Chl + Cc + Fsp)	Ep + Act	Ep + Act + Fsp + (Bt)	Fsp + Act + (Q)	Fsp + Q + Act + (Bt)
2	Вторичнокварцитовая	Серцит-березитовая	Актинолит-пропилитовая	Полевощпато-актинолит-пропилитовая	Актинолит-фельдшпатовая	Актинолит-фельдшпатовая
3	Вторичный кварцит	Березит серцитовый	Пропилит актинолитовый	Пропилит полевощпато-актинолитовый	Фельдшпатит (калишпатит, альбитит) актинолитовый	Фельдшпатит (калишпатит, альбитит) актинолитовый
4	Алюмокварцит, ...	Серцитолит, ...	Уралитит, ...	Гельсинкит, щелочноамфиболовый пропилит, кульпит, ...	Вторичный сиецит, ...	Вторичный сиецит, ...
5	Вторичнокварцитовиды: андалузит-корундоловый, серцит-пирофилитовый, диаспоровый метасоматит, ...	Березитовиды: лиственит, кварц-хлорит-турмалиновый, кварц-хлорит-карбонатный, серцит-карбонатный метасоматит, ...	Пропилитовиды: актинолитовый, турмалин-хлорит-актинолитовый метасоматит, биотитит, ...	Фельдшпатовиды: турмалин-калишпатовый метасоматит, ...		
6	Вк	Бс	Па	Пла	Фа	Фла

Ряды, их структурные и вещественные особенности	Названия граф*	Группы, подгруппы				полевошпатовая	
		кварц-светлослюдистая		темноцветная		однородная	неоднородная
		однородная	неоднородная	однородная	неоднородная		
III. Средне-крупнокристаллические структуры; минералы-индикаторы: мусковит, топаз, разнообразные амфиболы и пироксены (в том числе щелочные), клиноцоизит, цоизит, гранат, везувиян, биотит, магнетит, титаномагнетит	1	Q + Ms	Q + Ms + (Fsp + Chl + Cc)	Pu + Amf + (Gr + Ep)	Pu + Amf + Fsp + (Gr + Ep)	Fsp + Rib + (Eg + Bt + Q)	Fsp + Q + Bt
	2	Грейзеновая	Березито-грейзеновая	Скарновая	Шолевошпатовая скарновая	Щелочноамфибол-фельдшпатовая	Биотит-фельдшпатовая
	3	Грейзен	Березито-грейзен	Скарни	Скарни полевошпатовый	Фельдшпатит (калишпатит, альбитит) щелочноамфиболовый	Фельдшпатит (калишпатит, толит, альбит) биотитовый
	4	Штокшайдср, цвиттер, ...		Скарни известковый, альный, ...	Скарни известковый, магнезиальный, ...	Фенит, альбит-калиншпатовый метасоматит, щелочной метасоматит, ...	Апогранит, вторичный аляскит, кральмит, каммалит, ...
	5	Грейзеноиды: кварц-топазовый, топаз-слюдной, флюорит-карбонат-слюдной, флюорит-полевошпат-слюдной метасоматит, ...		Скарноиды: гранат-скаполит-полевошпатовый, пироксен-полевошпатовый метасоматит, платиноклазит, ...		Фельдшпатитонды: щелочноамфибол-эрихонитовый, магнетит-эрихонитовый метасоматит, ...	Фельдшпатитонды: кварц-биотитовый, биотитовый метасоматит, ...
	6	Гр	Бм	Ск	Скл	Фц	Флб

* 1 — типоморфные минералы статистически устойчивой ассоциации; 2 — название этой ассоциации; 3 — название соответствующего гидротермалита (метасоматита); 4 — его разновидности, имеющие собственные названия; 5 — фациальные

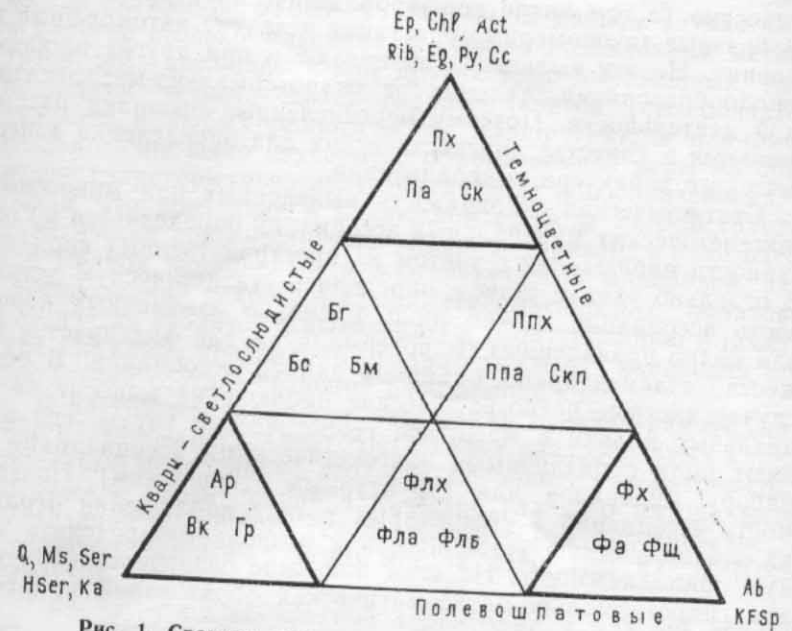


Рис. 1. Сводная диаграмма минерального состава гидротермалитов.

чивую эпигенетическую минеральную ассоциацию или несколько совмещенных в пространстве таких ассоциаций, определить их видовую принадлежность и в конечном итоге выявить границы их разноэкстенсивного распространения.

В большинстве случаев эпигенетический характер выделения минералов в петрографических шлифах измененных пород определяется надежно. Можно выделить три опорные группы признаков, отличающих эпигенетическую минерализацию, обусловленную просачиванием напорных газовой-жидких растворов в среде неравномерной проницаемости и гетерогенного состава:

- 1) псевдоморфозы как гомоосевые «зерно в зерно», так и агрегатные моно- и полиминеральные;
- 2) агрегаты свободного роста в мидалинах, трещинах и других пустотах с признаками геометрического отбора, обрастания, крустификационного строения и т. п.;
- 3) неравномерное (нерегулярное) распределение минерализации с тяготением к предполагаемым каналам повышенной проницаемости (слоистость, флюидальность, межзерновое пространство, кляваж и т. п.).

Следует подчеркнуть, что формы выделения минералов одной ассоциации могут быть различны и меняться в зависимости от субстрата и степени замещения. Перечисленные выше признаки ни в коей степени не исчерпывают возможные формы выделе-

ния эпигенетических минералов. Нередко образуются идиобластические (в том числе порфиробластические) кристаллы, разнообразные закономерные сростания и другие автоморфные выделения. Но эти выделения возникают и при других процессах пороодообразования, далеких от гидротермально-метасоматической деятельности. Поэтому перечисленные признаки рассматриваются в качестве диагностических для определения эпигенетического характера минерализации.

Статистическая устойчивость выделенных под микроскопом эпигенетических минеральных ассоциаций определяется по совокупности наблюдений с учетом их пространственных координат. В отдельно взятом шлифе определить статистическую устойчивость ассоциации можно лишь в сильно измененных породах или полно проявленных гидротермалитах, где фиксируется множество «элементарных объемов» данной ассоциации. В общем случае частные петрографические наблюдения выносятся на специальные кальки в масштабе геологической карты, где выделяют поля с различными эпигенетическими ассоциациями (по набору минералов или структурным отношениям). Повторяемость ассоциаций в сближенных точках наблюдений отражает их статистическую устойчивость и позволяет определить видовую принадлежность. На этом принципе базируется картирование гидротермально-метасоматических образований при геологической съемке.

Установленные статистически устойчивые ассоциации эпигенетических минералов по структурно-вещественным признакам сопоставляются с известными видами гидротермалитов (см. табл. 1—5 и рис. 1). При этом необходимо использовать знания по петрологическим моделям метасоматитов, данные о привносе—выносе петрогенных компонентов, парагенетический анализ. Этим вопросам посвящена обширная литература [1, 3—5, 7—9, 11, 12, 14, 23, 24]. Важнейшая задача этих исследований состоит в установлении вариаций состава статистически устойчивой эпигенетической ассоциации в зависимости от состава замещаемых пород, колебаний температуры, давления, концентраций вполне подвижных компонентов. Специфические гидротермалиты, возникающие обычно в породах особого состава (гипербазитах, известняках, кварцитах), выделяются как аналоги этих ассоциаций. Их предлагается называть «оидами» (грейзеноидами, березитоидами, пропилютоидами и т. п.).

2. КАРТИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

В основу изучения гидротермально-метасоматических образований в полном объеме проявления лежит их геологическое картирование в ведущих масштабах государственной геологи-

ческой съемки (1 : 50 000—1 : 200 000). В данном случае имеется в виду не столько фиксация тел полно проявленных метасоматитов, жил выполнения или других ярко выраженных, но спорадически встречающихся гидротермалитов (что обязательно делается в любых геологических маршрутах), а планомерное исследование всего изучаемого объема земной коры на обнаружение гидротермально-метасоматических новообразований. Учитывая, что последние в подвижной области распространяются практически повсеместно, но, главным образом, в виде рассеянной мелкой вкрапленности эпигенетических минералов, задача картирования гидротермально-метасоматических образований фактически сводится к выделению и оконтуриванию в пространстве зон слабо проявленных гидротермальных измененных пород, слагающих соответствующий блок земной коры.

В настоящее время нет четкости в определении «геологическое картирование». Опыт составления разнообразных карт, накопленный поколениями геологов, позволяет рассматривать геологическое картирование в качестве главного метода индивидуализации природных тел в геологическом пространстве. Теоретические основания этого метода изложены Ю. А. Косыгиным [10].

При изучении конкретной территории в каждой точке наблюдений можно определить набор эпигенетических минералов, количественные соотношения между ними, формы выделения этих минералов и другие структурные элементы. Таким образом, эпигенетическая минерализация как таковая может быть объектом геологического картирования с целью выделения эпипородных тел, т. е. объемов распространения статистически устойчивых ассоциаций эпигенетических минералов, замещающих исходные породы в различной степени. Признаками, измеряемыми в точках наблюдений, являются вещественные и структурные характеристики эпигенетической минерализации. Эти измерения должны проводиться с точностью, позволяющей определить видовую принадлежность этой минерализации на породном уровне, т. е. определить вид соответствующей эпипороды. Сеть наблюдений выбирается согласно масштабу картирования (в среднем 1 точка на 1 см² карты). Границы картируемых тел проводятся по смене видовых признаков эпипород.

Отмеченные принципиальные положения заложены в разработанную методику картирования зон гидротермальных изменений [13, 17], основные положения которой с учетом более позднего опыта излагаются ниже.

2.1. Подготовительные работы

Изучение гидротермально-метасоматических образований методом геологического картирования масштаба 1 : 50 000 производится на площадях, измеряемых, как минимум, сотнями квад-

ратных километров. Наиболее рационально это изучение выполнять в ходе геологической съемки, что сводит к минимуму дополнительные затраты труда и средств. Учитывая современное состояние геологической изученности, во многих случаях эти работы необходимо проводить в виде доизучения площадей, для которых уже составлена серия карт различного содержания, накоплены каменный и аналитический материал, обнаружены гидротермальные проявления. В этих условиях подготовительные работы имеют особо важное значение.

Геологическая основа должна удовлетворять требованиям масштаба работ и отражать пространственное расположение геологических тел в естественных ограничениях с указанием их возраста, состава и формационной принадлежности. Обычно в качестве геологических тел выступают литологически однородные комплексы пород. Надежность и полнота вещественной характеристики выделенных на карте геологических подразделений требуют особого внимания. Кроме перечисления горных пород, слагающих эти подразделения, необходимо приводить характеристику их формационной принадлежности. Достоверный формационный анализ осадочных, магматических и других образований, слагающих изучаемую территорию, в значительной степени способствует правильной интерпретации выделяемых зон изменений. В дополнение к характеристике состава и формационной принадлежности каждое подразделение должно быть определено в возрастном отношении. Таким образом, в качестве геологической основы для картирования гидротермально-метасоматических образований используется геологическая карта соответствующего масштаба с показом состава и формационной принадлежности выделенных на ней возрастных подразделений.

Рассмотрим подробнее некоторые элементы геологической карты, заслуживающие повышенного внимания, в свете анализа гидротермально-метасоматических образований:

1. Перерывы и другие несогласия в пределах стратиграфического разреза могут разграничивать этапы и стадии гидротермальной деятельности, либо соответствовать периодам их проявления. Большое значение имеют базальные конгломераты, галька и цемент которых должны анализироваться в отношении наложенной минерализации. Поверхности структурных несогласий могут оказывать существенное влияние и на более поздние ГМ системы.

2. Контакты интрузивных тел также могут иметь двойственное значение. Обычно мало внимания уделяется интрузивным контактам в качестве верхнего возрастного ограничения гидротермальной деятельности. С другой стороны, контактовые зоны интрузий являются ареной активной плутогенной гидротермальной деятельности, а иногда и рудообразования. В этом отношении равно существенны экзо- и эндоконтактовые зоны, провалы кровли, ксенолиты и другие участки.

3. Разрывные нарушения и окаймляющие их зоны повышенной проницаемости, иногда весьма значительной ширины, с опережающими разломами, полосами трещиноватости и другими взаимосвязанными тектоническими элементами являются путями наиболее значительной миграции гидротерм, вместе с тем полнопроявленных метасоматитов и жил выполнения. Детальная классификация разрывных нарушений имеет немаловажное значение. При этом обращает на себя внимание тот факт, что продольные (согласные с простиранием складчатых структур) разломы часто выражены зонами расланцевания, а поперечные разломы, сопровождающиеся брекчированием и другими проявлениями, контролируют разнофациальные сопряженные метасоматические зоны. Следует подчеркнуть в отношении разрывных нарушений их не только контролирующую, но и ограничивающую роль в расположении зон изменения. При региональном анализе гидротермально-метасоматических образований оба варианта встречаются достаточно часто.

4. Внутренняя структура вулканических массивов определяется пространственно-возрастным сочетанием литологических и генетических фаций вулканитов с учетом глубин формирования магматических образований. Особое внимание следует обратить на выделение прикальдерных флюидопорфировых комплексов, радиальных и дуговых разломов, экструзивных тел, дайковых поясов и т. п. [25].

5. Блоки с различной историей геологического развития разделяются на относительно более мобильные и более жесткие. Среди последних в строении подвижных областей особое место занимают инверсионные поднятия и другие блоки преимущественно геантиклинальных тенденций развития. Среди относительно мобильных блоков наиболее существенны для анализа гидротермальной деятельности вулканические депрессии, приразломные впадины, субплатформенные мульды. Особое значение имеет выделение сиалических и симатических блоков земной коры и их палеорекострукции с позиций тектоники плит. Кардинальные различия континентальных и океанических гидротермальных палеосистем во многом определяют особенности сформированных ими ГМ образований.

Геологическая основа для картирования гидротермально-метасоматических образований должна быть выполнена в черно-белом варианте для сохранения основного картографического средства (цвета) за эпигенетической нагрузкой. Литологические знаки должны выразительно отличать одно геологическое подразделение от другого с учетом его формационной принадлежности, состава, фациальных особенностей и возраста. Кроме того, для каждого подразделения используются индексы. Согласно положению о Гостеолкарте-50 [6] на результирующей геологической карте наиболее интенсивные гидротермальные изменения пород показываются цветной штриховкой. Но при

составлении специальной карты рекомендуется цветовую гамму использовать для показа видовой принадлежности ГМ образований с учетом степени замещения исходных пород и их геохимических особенностей.

Глубинное строение. Зоны гидротермально-метасоматических изменений представляют собой объемные тела, в той или иной степени срезанные дневной поверхностью. Однако экстраполяция этих зон на глубину сопряжена с большими сложностями. Глубины региональных метасоматических зон далеко не всегда совпадают с границами геологических подразделений, выделенных на геологической основе. Для выяснения объемного выражения зон изменений в подготовительный период анализируются имеющиеся материалы по глубинному строению территории:

1. Составляются геологические разрезы с учетом известных скважин и особенностей рельефа. Анализируется ранее собранный каменный материал, особенно буровой керн.

2. Собираются и анализируются геофизические материалы. Выделяются зоны несовпадения физических свойств пород и характер геофизических полей или номенклатурного состава пород. Определяются глубинные контуры интрузий и других тел, не выходящих на дневную поверхность. Уточняется блоковое строение района. Опыт подобных исследований указывает на часто встречающееся качественное совпадение данных гравиметровой и магнитной съемок с конфигурацией зон гидротермально-метасоматических изменений.

Гидротермальные проявления. Все проявления гидротермальной минерализации, ранее установленные на изучаемой территории, должны быть вынесены на специальные кальки-накладки в масштабе геологической основы. При этом особое внимание обращается на характер околорудных изменений, жильную и ореольную минерализацию месторождений и рудопроявлений. Рациональна классификация рудных объектов по рудно-формационному принципу, наиболее полно учитывающая их вещественные особенности. Кроме гидротермальных месторождений, рудопроявлений и точек рудной минерализации, особыми знаками отмечаются все известные безрудные жилы, тела метасоматитов и зоны изменений. Учитывая предстоящий историко-геологический анализ гидротермальной деятельности, следует уделить внимание возрастной характеристике гидротермальной минерализации. При этом, помимо геологических данных, фиксируются все радиологические определения абсолютного возраста по гидротермальным минералам.

В качестве косвенных признаков гидротермальной деятельности можно использовать некоторые геохимические данные. Особое место в этом отношении занимают результаты аэрогамма-спектрометрии, отражающие, кроме урана и тория, распределение калия — элемента весьма подвижного в гидротер-

мальном процессе [17]. Могут указывать на проявления эпигенетических процессов локальные геохимические аномалии, зоны привноса и выноса или зоны нарушенного первично-конституционального распределения химических элементов, установленные при геохимическом картировании коренных пород [19, 21].

Все перечисленные данные, полученные при обработке ретроспективной информации по изучаемой площади, удобно отображать на отдельной кальке, которая может быть наложена на геологическую основу для анализа закономерностей их пространственного распределения.

Каменный материал. Весьма значительный резерв информации по гидротермальной деятельности содержится в ранее изготовленных петрографических шлифах. Необходимо по возможности собрать все шлифы, а при их отсутствии образцы коренных пород, отобранных предыдущими исследователями на площади, планируемой для доизучения в отношении ГМ образований. Естественно, имеются в виду материалы с точной географической привязкой мест отбора. В первую очередь эти сборы касаются шлифов и образцов из горных выработок (скважин, канав, шурфов и т. п.), что нельзя восполнить новыми полевыми работами. Но и по естественным обнажениям такие материалы имеют большую ценность, экономя время и средства исследований. Места отбора шлифов и образцов, отраженные на составленной в ходе подготовительных работ специальной кальке-накладке, учитываются при планировании новых маршрутов.

2.2. Полевые работы

Для специального доизучения территории в отношении гидротермально-метасоматических образований в полном объеме их проявления перед полевыми работами ставятся следующие задачи: создание относительно равномерной сети опробований всей территории в масштабе исследований (площадные работы); опробование вертикальных обнажений и глубоких скважин с составлением разрезов в более крупных масштабах (объемные работы); исследования на участках гидротермальных месторождений и других полнопроявленных гидротермалитов (детальные работы).

Площадные работы. Создание относительно равномерной сети точек наблюдения по всей картируемой площади является главным условием изучения гидротермально-метасоматических образований в полном объеме их проявления. Если установлены основные простирания метасоматических зон, то рационально разрезать расстояния между профилями и укорачивать шаг опробования по профилю. При этом следует делать поправки на

прихотливость очертаний метасоматических зон. Учитывая статистический характер устойчивости эпигенетических минеральных ассоциаций, надо стремиться к тому, чтобы каждая зона изменения, которая будет выделена на карте, была охарактеризована не менее чем 10—15-ю точками наблюдения. На практике это происходит далеко не всегда, так как трудно предугадать границы этих зон. На основании накопленного опыта площадного картирования региональной метасоматической зональности при развитии сети наблюдений рекомендуется учитывать следующие положения:

1. Выделяются основные рудные узлы, относительно которых с учетом фактической обнаженности или расположения горных выработок намечается лучевидная система профилей протяженностью 10—15 км с постепенно возрастающим шагом опробования от рудных проявлений вовне.

2. Предусматривается маршрутное пересечение каждого интрузивного и вулканического массива, включая их контактные области.

3. Стратифицированные толщи опробуются обычно вкрест простирания с учетом блокового строения территории так, чтобы охарактеризовать каждое геологическое подразделение в основных тектонических блоках. При этом в карбонатных и кварцитовых толщах особо выскиваются терригенные и вулканические прослои, которые обычно содержат более представительную эпигенетическую минерализацию.

4. Производится сгущение сети опробования: 1) вблизи несогласия, в базальных толщах и особенно в конгломератах; 2) в эндо- и экзоконтактах интрузий; 3) в зонах разломов, трещиноватости, расщепления и других тектонических нарушений; 4) в пределах и в окрестности метасоматических и жильных тел; 5) в контуре мало распространенных на данной площади геологических подразделений. Так как сгущение точек наблюдений производится обычно за счет их разряжения на других участках, следует помнить о масштабе картирования и стремиться все же к сохранению общей относительно равномерной сети опробования (в среднем 0,5 км между точками наблюдения).

Требуется уточнить понятие о точке наблюдения. В условиях естественного коренного обнажения или элювиального развала под точкой наблюдения понимается участок диаметром 10—20 м, в пределах которого выделяют наиболее представительную по составу, строению и степени изменения породу. Эта порода (или несколько равно характерных для обнажения пород) подвергается опробованию. Отбирается образец небольших размеров со свежими сколами и от него — кусочек для изготовления прозрачного шлифа, а также геохимическая штучная проба весом 300—500 г. Локальные зонки изменений, жилы и про-

жилки при необходимости опробуются дополнительно. Надо, по возможности, отбирать каменный материал не затронутый выветриванием. Однако в связи с отсутствием четких признаков различия гипергенных и гидротермально-метасоматических изменений требуется проявлять осторожность в отбраковке проб.

Главным источником информации является петрографический шлиф из типичной разновидности пород данного обнажения. При отсутствии естественных обнажений выбор типичной разновидности производится по керну скважины или другим материалам.

Кроме опробования, на точке наблюдений составляется геологическая документация с соответствующими записями в полевом дневнике, как при геологической съемке. Дополнительное внимание уделяется макроскопическим признакам гидротермальной деятельности и, в первую очередь, диагностике всех видимых гидротермальных минералов. При специальном тщательном просмотре каменного материала с использованием элементарной десятикратной лупы можно практически в каждом образце диагностировать несколько гидротермальных минералов. Кроме того, по макроскопическим данным производится предварительная оценка степени изменения породы.

Объемные работы. Если в плане метасоматические зоны, картируемые в масштабе 1:50 000, составляют десятки и сотни квадратных километров, то по вертикали их мощность измеряется в пределах сотен—тысяч метров. Разломы и другие крутопадающие зоны повышенной проницаемости весьма сильно искажают картину вертикальной зональности, которую легче уловить в относительно монолитных блоках. С целью выяснения объемного выражения региональной метасоматической зональности тщательному опробованию подвергаются наиболее глубокие скважины, пройденные на изучаемой территории. Кроме того, в участках расчлененного рельефа выбираются профили для составления вертикальных разрезов, вскрывающих разнообразие метасоматических зон. Основные требования к опробованию аналогичны описанным выше. Шаг опробования разрезов порядка 10 м.

Детальные работы. Имеются в виду не специально запланированные детальные работы на рудных или перспективных участках, а дополнительная детализация опробования при обнаружении полно проявленных метасоматитов или жил выполнения, особенно при наличии ореольных или рудных гидротермалитов. Для получения характеристики немасштабного для данной съемки объекта необходимо произвести его дополнительное точечное опробование, поискать в округе его аналоги и тоже опробовать, в благоприятных условиях сделать глазомерный профиль опробования поперек его простирания. При необходимости следует запланировать дальнейшее специальное изучение обнаруженного объекта после тщательного изучения материалов предварительной детализации.

В полевых условиях необходимо проводить предварительную обработку собранных материалов. Подчеркнем основные виды работ:

а) составление карт опробования в масштабе геологической основы с указанием мест отбора и номера проб, собранных в ходе подготовительного и полевого периодов исследований;

б) отображение на разрезах, детальными врезками и зарисовках мест взятия и номеров дополнительных проб;

в) ведение журнала опробования с указанием для каждой пробы названия породы, геологического подразделения и его возраста, представительности пробы для этого подразделения, степени изменения породы и установленных эпигенетических минералов;

г) обработка и сортировка геохимических проб для анализов с разделением их по типам пород, степени измененности и обогащенности рудными минералами.

Одним из основных результатов полевых работ является создание шифотеки петрографических шлифов, являющихся основным источником информации о широко распространенных, но слабо выраженных ГМ образованиях на исследуемой территории. Выявление этой информации составляет основную задачу петрографических работ.

2.3. Петрографические работы

В составе этих работ выделяются: 1) массовые исследования по диагностике эпигенетической минерализации в прозрачных шлифах; 2) детальное минералого-петрографическое изучение отдельных образцов, проб, шлифов и аншлифов; 3) получение и использование аналитических данных.

1. Массовые исследования. Для надежной характеристики гидротермально-метасоматических образований в пределах каждого планшета геологической карты следует изучить 1—2 тысячи петрографических шлифов, относительно равномерно отобранных в соответствии с площадью планшета и масштабом исследования. В оптимальном варианте в каждом шлифе производятся следующие определения:

а) наименование исходной породы; б) полный список эпигенетических минералов в последовательности от главных к второстепенным; в) количественное соотношение эпигенетических минералов в грубой градации (преобладающие, подчиненные, акцессорные); г) размерность кристаллических индивидов эпигенетических минералов ($<0,01$; $0,01-0,1$; $0,1-1,0$; $>1,0$ мм); д) форма выделения этих минералов и общий псевдоморфный или автоморфный облик эпигенетической петрографической структуры; е) процентное содержание суммы эпигенетических минералов в объеме породы в принятой градации, в %:

0—5 (1), 5—10 (2), 10—15 (3), 15—30 (4), 30—50 (5), 50—80 (6), 80—100 (7).

В большинстве шлифов присутствует одна ассоциация эпигенетических минералов, составляющая 5—15 % от объема породы и представленная небольшим числом минеральных видов (1—5). При этом эпигенетический характер выделения минералов определяется без особых затруднений. В этих случаях все перечисленные выше определения опытным петрографом делаются быстро и однозначно. Значительно реже встречаются сильно измененные породы, породы с проявлением нескольких ассоциаций эпигенетических минералов, а также с наличием редких, трудных для диагностики, или непрозрачных минералов. В некоторых вариантах нахождения эпигенетический характер гидротермальных минералов выявляется с большим трудом, возможны неточности и ошибки.

Результаты массовых петрографических наблюдений выносятся на специальные кальки-накладки в масштабе геологической основы, которые удобно составлять попланшетно. На карту фактических петрографических наблюдений наносится место отбора шлифа (кружком диаметром 1,5—2 мм) с указанием его номера. В кружке, отмечающем место взятия шлифа, специальным знаком показывается степень проявленности гидротермально-метасоматических образований (процентное содержание эпигенетических минералов). Рядом с кружком знаками с внутренним заполнением указываются все определенные эпигенетические минералы и формы их выделения (рис. 2). Разновременные ассоциации разделяются стрелками. Последовательность знаков отражает количественные соотношения минералов, среди которых преобладающие показываются более крупными знаками, а акцессорные даются в скобках. В некоторых случаях рядом со знаком минерала цифрой указывается размерность кристаллических индивидов. Рядом с номером шлифа отмечается наименование исходной породы. При необходимости вся совокупность знаков, относящаяся к одной точке наблюдений, объединяется общим контуром. Таким образом, на карты фактических петрографических наблюдений выносятся данные конкретных микроскопических определений без установления наименования статистически устойчивой минеральной ассоциации (эпипороды). При наличии персонального компьютера вся эта информация непосредственно петрографом вводится в ЭВМ, что значительно облегчает ее дальнейшую обработку и картосоставительские работы.

2. Детальные исследования. Кроме диагностики трудно определить минералы, что не требует дополнительных пояснений, перед этими работами стоят задачи: а) уточнение видовой принадлежности выделяемых статистически устойчивых минеральных ассоциаций; б) выяснение возрастных соотношений минералов в рамках ассоциаций и между ассоциациями; в) определе-

Методические рекомендации по геолого-геохимическому изучению гидротермально-метасоматических образований при ГСР-50 с общими поисками. СПб., 1992. 64 с. (Комитет по геологии и использованию недр при Правительстве Российской Федерации. Всерос. науч.-исслед. геол. ин-т им. А. П. Карпинского).

Изложены принципы и методы комплексного геолого-геохимического подхода к изучению и картированию рудоносных гидротермально-метасоматических образований при ГСР-50 с общими поисками в различных геодинамических обстановках складчатых областей СССР. Охарактеризованы главные формы проявления гидротермальной деятельности и ее вещественные производные на минеральном, породном и формационном уровнях. Сформулированы требования к проведению подобных исследований при крупномасштабных геологосъемочных работах, включая предполевую подготовку, полевые и камеральные работы, интерпретацию полученных результатов с выходом на количественную оценку прогнозных ресурсов по категории P_2 — P_3 и геометризацию перспективных площадей для постановки детальных поисково-оценочных работ. Приведены примеры использования результатов подобных исследований.

Методические рекомендации рассчитаны на специалистов, изучающих закономерности распределения и условия формирования гидротермальных месторождений, а также геохимиков и геологов широкого профиля при производстве основных видов ГСР-50 с общими поисками.

Ил. 13, табл. 6, список лит. 25 назв.

Составители:

Е. В. ПЛЮЩЕВ, В. В. ШАТОВ, Г. М. БЕЛЯЕВ

Научный редактор **Е. В. ПЛЮЩЕВ**

*Рекомендовано к печати отделом региональной геологии
Комитета по геологии и использованию недр
при Правительстве Российской Федерации*

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

Ab — альбит
Act — актинолит
Aln — алунит
Amf — амфибол
Bt — биотит
Cc — кальцит
Chl — хлорит
Eg — эгирин
Ep — эпидот
Fsp — полевой шпат
Gr — гранат
Hm — гематит
Ser — серицит
HSer — гидросерицит

Ka — каолинит
KFsp — калишпат
Mnt — монтмориллонит
Ms — мусковит
Mt — магнетит
Pr — пренит
Pmp — пумпеллит
Py — пироксен
Q — кварц
Rib — рибекит
Trm — турмалин
Top — топаз
Crn — корунд
And — андалузит

Знак минерала на карте фактических петрографических наблюдений		Внутреннее заполнение знака, указывающее на форму выделения минерала	
☐	Кварц	•	Агрегаты неакономерного строения поли- и мономинеральные
△	Мусковит		
○	Серицит	∧	Ксенобласты, идиобласты, порфиробласты
⊕	Гидросерицит		
◊	Каолинит	✱	Сферолиты и подобные им сростания
▭	Карбонат	∴	Пойкилитовые образования
▭	Хлорит		
▭	Пренит	∨	Пегматоидные образования
◻	Эпидот	~	Прожилковые выделения
⊕	Цоизит (клиноцоизит)		
◊	Амфибол	◦	Выполнение миндалин
◇	Пироксен	z	Мономинеральные гомоосевые псевдоморфозы
◇	Щелочной амфибол		
△	Биотит		Мономинеральные агрегатные псевдоморфозы
▽	Калишпат		
△	Альбит	—	Полиминеральные агрегатные псевдоморфозы

Рис. 2. Обозначение эпигенетических минералов и форм их выделения на картах фактических петрографических наблюдений.

ние последовательности реакций замещения для каждой статистически устойчивой ассоциации, построение метасоматической колонки и отнесение ее к той или иной петрографической метасоматической формации; г) изучение рудной и ореольной ГМ минерализации.

Перечисленные задачи решаются на базе дополнительного изучения полно проявленных гидротермалитов или сильно измененных пород, выявленных макроскопически или при массовых петрографических наблюдениях. Кроме того, по картам фактических петрографических наблюдений выделяются наиболее типичные представители той или иной статистически устойчивой ассоциации, проявленной в различной степени, и проводится их микроскопическое и аналитическое доизучение. В результате

уточняются породные и локально-формационные названия гидротермально-метасоматических образований, типизируется процесс метасоматоза.

3. Аналитические исследования. Кроме стандартной оценки геохимических проб в отношении содержания рудных элементов, для изучения метасоматической зональности производится анализ поведения петрогенных компонентов и, в первую очередь, весьма подвижных в гидротермальном процессе щелочей (калия и натрия). С этой целью выбираются одинаковые исходные породы, измененные в различной степени одним и тем же процессом и сравниваются между собой по содержанию петрогенных элементов атомно-объемным методом [8]. Эти исследования проводятся в тесной увязке с петрографическими работами и способствуют более надежной диагностике гидротермально-метасоматических образований, а также выяснению физико-химических условий их образования. Среди аналитических работ особое место занимает измерение физических свойств образцов, отобранных в ходе площадного опробования, которые должны фиксироваться в каждой точке наблюдения.

При широком развитии глинистых изменений важную роль массовых определений приобретает рентгеноструктурный анализ (дифрактометрия) с разделением глинистых, слюдяных и смешаннослойных минералов [1]. Используются и другие аналитические методы по определению типоморфизма минералов для целей картирования ГМ образований [22, 24].

2.4. Картосоставительские работы

Специальные карты ГМ образований составляются на геологической основе, содержание которой определено выше. Эта основа используется не только для интерпретации, но и для установления границ ГМ образований. С принципиальных позиций границы зон распространения статистически устойчивых ассоциаций гидротермальных минералов, как уже отмечалось, определяются сменой видовых признаков этой минерализации и только, но практически в связи с большой дискретностью сети точных микроскопических наблюдений рекомендуется проводить границы эпипородных тел с использованием геологической основы.

Анализ распространения эпигенетической минерализации производится последовательно в контурах исходных пород определенного вида от наиболее молодых к древним. На дополнительную кальку выносятся контуры, например, самых молодых интрузий района. Эти контуры накладываются на карту фактических петрографических наблюдений и устанавливаются присутствие им статистически устойчивые ассоциации эпигенетических

минералов. Затем берутся образования следующей возрастной группы и т. д. В сочетании контуров геологической основы и метасоматических зон возможны три варианта: а) полное совпадение; б) контур метасоматической зоны захватывает только часть геологического подразделения; в) контур метасоматической зоны охватывает несколько геологических подразделений. В двух последних случаях возникают собственные границы эпипородных тел. Появление таких границ происходит значительно чаще, чем это можно было предполагать, что и обосновывает целесообразность развиваемой методики непосредственного картирования метасоматических зон (эпипородных тел). В качестве дополнительных данных для прослеживания и ограничения этих зон используются полевые макроскопические наблюдения, все ранее известные пункты обнаружения гидротермальной минерализации (месторождения и др.), а также разнообразные косвенные признаки, включая рельеф, растительность, аэрофотоснимки, геофизические и геохимические материалы, если они не противоречат основным фактическим данным.

Для изображения выделенных метасоматических зон на геологической основе используется цветная раскраска или штриховка (для черно-белых вариантов). Выбор цвета имеет большое значение для восприятия карты. Геологическая карта читается хорошо, в первую очередь, в силу традиционности цветовой гаммы. Поэтому для карт ГМ образований целесообразно договориться о применяемых цветовых обозначениях. Предлагается зоны развития темноцветных ассоциаций закрасивать в зеленых тонах, зоны полевошпатовых ассоциаций — в лилово-синих тонах, зоны кварц-светлослюдистых ассоциаций — в желто-красно-коричневых тонах. Оттенками цветов выделяются разновозрастные ГМ образования одного вида либо их разновидности, а также степень замещения исходных пород. В действующих инструктивных документах по ГСР-50 гидротермально-метасоматические образования рекомендуется отражать непосредственно на раскрашенной геологической карте цветной штриховкой, что приемлемо для относительно локальных тел метасоматитов или зон интенсивных изменений [6]. Но при картировании ГМ образований в полном объеме проявления лучше их изображать цветом на черно-белом оттиске геологической карты.

Следующая задача составления карты состоит в установлении сопряженности метасоматических зон. Это наиболее сложная процедура, требующая разносторонних геологических знаний, и в настоящее время не поддающаяся строгой формализации. Элементы интерпретации выделенных метасоматических зон должны быть четко отделены от фактически закартированных проявлений гидротермальной деятельности, в силу чего дальнейшее исследование рекомендуется направить на анализ геохимических особенностей территории.

3. ИЗУЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Прямые геохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния, успешно применяемые для выявления месторождений, выходящих на поверхность выветривания, во многих случаях не могут решить задачу поисков месторождений, слабо проявленных на поверхности. Современные модификации прямых геохимических поисков, хорошо зарекомендовавшие себя в специализированных (на те или иные металлы) вариантах, не всегда могут быть надежной основой общих поисков в связи с ограниченностью лабораторных и аппаратурных возможностей.

Выявление на стадии ГСР-50 с общими поисками участков с нарушенным первично конституционным распределением микропримесей рудных элементов является важной задачей. Установление в их пределах зон привноса и зон выноса элементов, обусловленных рудоформирующим процессом, позволяет не только определить место возможной локализации оруденения, но и установить его формационную принадлежность, величину эрозионного среза, прогнозные ресурсы. Оценка прогнозных ресурсов по объективным геохимическим данным имеет наиболее существенное значение.

3.1. Некоторые исходные положения

1. Опыт изучения закономерностей распределения микропримесей рудных элементов в метасоматитах по результатам многих авторов однозначно свидетельствует об отсутствии устойчивой геохимической специализации у ГМ образований [1, 16, 17, 23]. Об этом же свидетельствует геохимическая классификация рудных месторождений [16], из которой следует, что скарны могут сопровождать редкометальное (Mo, W, Sn, Be), полиметаллическое (Pb, Zn, Cu, Au), железное, кобальтовое и другое оруденение. Березиты отмечаются в качестве околорудных метасоматитов золотого, уранового, молибденового, сурьмяно-ртутного и другого оруденения. В зонах аргиллизации встречаются урановые, бериллиевые, флюоритовые, золоторудные и другие месторождения и т. д.

Вывод из эмпирических наблюдений имеет важное практическое значение: геохимическая специализация гидротермалитов на те или иные ассоциации рудных элементов носит индивидуальный, а не видовой характер, т. е. гидротермалиты одного вида могут быть специализированы на различные группы элементов или специализация может вообще отсутствовать, что обусловлено конкретными геологическими условиями их проявления.

Следствием этого положения является необходимость установления геохимических особенностей конкретных зон ГМ изменений на всей территории проведения ГСР-50. Иначе говоря, специальное геохимическое изучение измененных пород должно представлять собой составную часть геологосъемочных работ в сочетании с общими поисками.

2. Выделяемые при ГСР-50 зоны ГМ преобразований пород в геохимическом отношении подразделяются на два типа. Одни из них характеризуются высокой дисперсией распределения микропримесей рудных элементов, наличием разнообразных участков аномального концентрирования тех или иных ассоциаций и деконцентрирования других ассоциаций, сложными многофакторными структурами геохимических ассоциаций со значимыми положительными и отрицательными корреляционными связями. Другие зоны изменения отличаются спокойным близкларковым распределением микропримесей, сходными концентрациями рудных элементов в различных исходных породах, низкими дисперсиями и малозначимыми корреляционными отношениями, слабой анизотропией геохимических ассоциаций. Метасоматические зоны обоих типов являются зонами нарушенного первично-конституционального распределения элементов-примесей, но первые из них могут быть определены как зоны возрастающей дифференцированности их распределения, а вторые — как зоны гомогенизированного, выровненного распределения по сравнению с более неравномерным распределением в исходных породах.

Метасоматические зоны первого типа (т. е. зоны условно с положительной геохимической направленностью развития) характеризуются проявлением кварц-светлослюдистых гидротермалитов (Гр, Вк, Б, Ар-ассоциации) с подчиненными калишпатитами и альбититами различных термодинамических ступеней (Фх, Фа, Фщ-ассоциации). Кроме фоновых, здесь могут быть встречены ореольные и рудные ГМ образования, в том числе разнообразные жилы выполнения. Для метасоматитов данного типа характерна инфильтрационная (по Д. С. Коржинскому) центробежная околотрещинная зональность. По мере усиления степени замещения исходных пород перечисленными ГМ ассоциациями происходит сверхкларковый рост концентраций одних элементов и деконцентрация (нижекларковый вынос) других элементов (рис. 3). Метасоматические зоны с перечисленными характеристиками рассматриваются как зоны разгрузки ГМ систем, как области возможной и фактической локализации гидротермального оруденения. Геохимическое изучение их внутренних неоднородностей может иметь и прямое поисковое значение.

Метасоматические зоны второго типа (т. е. зоны условно с отрицательной геохимической направленностью развития) характеризуются проявлениями пропилитовых и кварц-полевошпатовых ГМ образований (Пх, Ппх, Па, Ппа, Флх, Фла, Флб-ас-

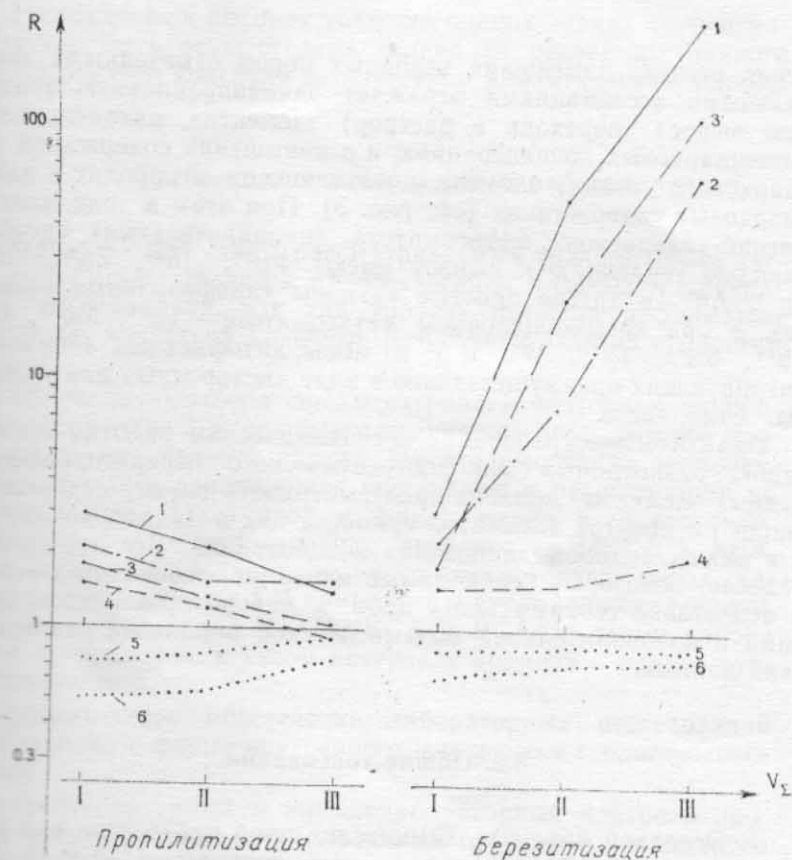


Рис. 3. Поведение некоторых элементов-примесей в ходе безитизации и пропилитизации андезибазальтов джангабульской свиты (E_2 , Бошекульский рудный узел, С.-В. Казахстан).

V_{Σ} — степень замещения: I — слабая — умеренная, II — сильная, III — интенсивная — полная. R — коэффициент накопления для групп элементов: 1 — Cu; 2 — Mo; 3 — Cu, Mo, Ag, Ba; 4 — Zn, Co, Ni; 5 — Mn, Ti, V, Cr, Ge, Ga; 6 — Pb, Zr, Y, Sn.

социации). Это преимущественно фоновые гидротермалиты с широкоткопрожилковыми и ядровыми обособлениями минералов, отражающими развитие центростремительной или квазиэлизонной зональности относительно дренажных участков. Подобные метасоматиты изучены значительно хуже, чем выше рассмотренные, их иногда называют «автометасоматическими», «зеленокаменными» или «краснокаменным перерождением» пород, рассматривают как фации регионального или зонального метаморфизма. Однако поведение элементов-примесей по мере уси-

ления степени замещения исходных пород отмеченными минеральными ассоциациями отражает однонаправленную тенденцию выноса (перехода в раствор) элементов, находящихся в вышекларковых концентрациях, и о повышении содержаний (до кларкового уровня) элементов, находящихся в породах в нижекларковых содержаниях (см. рис. 3). При этом в ходе железомангний-кальциевого метасоматоза (пропилитизации) преобладающую тенденцию к выносу имеют Pb^{2+} , Sn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ag^{1+} , Au^{1+} и другие простые катионы халькофильных элементов, а при кремне-щелочном метасоматозе — Th^{4+} , Mo^{4+} , U^{4+} , Nb^{5+} , Sn^{4+} , Ta^{5+} , W^{6+} и т. п. ионы литофильных элементов, мигрирующих преимущественно в виде кислородных или галоидных комплексов.

Практические требования к геохимическим работам по изучению разнотипных зон эпигенетического перераспределения рудных элементов должны предусматривать оценку содержаний широкого спектра элементов-примесей как в надкларковом, так и в нижекларковом диапазонах концентраций. Все это предопределяет некоторый необходимый минимум требований к отбору и подготовке геохимических проб, к лабораторным исследованиям и предварительной математической обработке аналитических данных.

3.2. Общие требования

1. Основной объем геохимических проб отбирается при картировании ГМ образований по всей территории ГСР-50. Это штучные пробы, сопровождаемые петрографическим шлифом и образцом для контроля и петрофизических измерений.

2. Для лабораторных исследований все штучные пробы рассматриваются и сортируются по заказам в зависимости от: а) вида исходных пород, б) степени и характера изменения, в) степени обогащенности рудными минералами. Особо выделяются пробы для специальных исследований.

3. В основе определения содержаний широкого спектра элементов-примесей лежит приближенно-количественный спектральный анализ (ПКСА). Кроме того применяются современные физические методы массовых количественных определений малых концентраций рентгеноспектральным, квантометрическим, нейтронно-активационным и другими методами. Для решения специальных задач по отдельным пробам используются методы «мокрой» химии, изотопные и другие прецезионные исследования.

4. Основные аналитические исследования производятся из малых навесок, что требует определенных условий дробления, истирания и квартования геохимических проб.

5. Надежность и высокая точность оценок низких концентраций может быть осуществлена только на основе постоянного метрологического контроля за качеством аналитических данных.

3.3. Требования к лабораторным работам

Контроль за качеством рассматриваемых геолого-геохимических работ осуществляется на всех этапах полевых и лабораторных исследований, так как уровень качества информации существенно влияет на конечные результаты ГСР-50 с общими поисками.

Контроль пробоотбора предусматривает повторное опробование в количестве 3 % от общего количества проб, которое проводит начальник полевой партии. Необходимо также неукоснительно соблюдать действующие инструкции и рекомендации по подготовке (обработке) проб к аналитическим исследованиям. При сдаче проб в лабораторию, особенно на ПКСА и КСА, обязательна группировка проб по видам исходных пород, характеру и интенсивности ГМ изменений и рудной минерализации. Желательно проведение ПКСА, КСА и РСА по всему району в одной лаборатории, в узком интервале времени и одной группой исполнителей.

Метрологическое обеспечение лабораторных исследований осуществляется в форме внутреннего, внешнего и геологического контроля.

Внутрилабораторный и внешнелабораторный контроль проводятся в соответствии с требованиями отраслевых стандартов и согласно действующим инструкциям и рекомендациям. Геологический контроль за качеством лабораторных работ осуществляется под руководством начальника полевой партии. Обычно такой контроль проводится путем включения в каждую партию проб 5—10 % (но не менее 15—20 проб) зашифрованных проб с аттестованными содержаниями определяемых элементов-примесей. В качестве контрольных в таких ситуациях целесообразно использовать СОС, СОП или КО. Рационально в качестве контрольных в каждую последующую партию проб включать пробы из предыдущей партии, что одновременно обеспечит возможность увязать контролем все партии проб, отобранных на изучаемой территории. Расчет ошибок аналитических определений (правильности и воспроизводимости) проводится в соответствии с действующими инструкциями.

Нежелательно использовать при данных исследованиях аналитические данные, не подкрепленные шлифовыми материалами, а также выполненные в различных лабораториях, в разные сроки и различными группами исполнителей.

3.4. Использование результатов

Полученная геохимическая информация может быть использована для определения геохимической специализации конкретных геологических тел или отдельных блоков территории геологической съемки. На ее основе может быть построена карта аномального геохимического поля. Учитывая надежную геологическую привязку проб и точную диагностику видов и особенностей анализируемых пород микроскопическими методами, могут решаться разнообразные геологические задачи стратиграфической корреляции картируемых подразделений, идентификации магматических и метаморфических комплексов и т. п. В данном случае остановимся только на одном кардинальном вопросе, определяющем прогнозно-поисковую направленность работ. Это выявление геохимического эффекта преобразования пород в крупных гетерогенно построенных метасоматических зонах, выявляемых в ходе специального картирования.

1. Для каждой выделенной на карте зоны ГМ образований определяется общая площадь (современный закартированный срез) — S . В пределах этой зоны оцениваются также площади, занятые породами различного вида ($S_1, S_2 \dots S_n$), так что $S_1 + S_2 \dots + S_i + \dots + S_n = S$.

2. Измененные породы каждого вида подразделяются по степени замещения статистически устойчивой эпигенетической минеральной ассоциацией, согласно принятой градации (см. раздел 2.3). Как уже отмечалось, эти оценки делаются при массовом просмотре петрографических шлифов.

3. Монопородная площадь (S_i) делится на части пропорционально числу точек равномерной сети наблюдений с соответствующей градацией степени замещения:

$$s_{i(1)} + s_{i(2)} + \dots + s_{i(6)} + s_{i(7)} = 1,$$

а совокупность проб, отвечающих такой элементарной части площади, составляет элементарную геохимическую выборку. Если полученная выборка не представительна по числу проб или разбросам содержаний, то смежные выборки объединяют и «очищают» от аномальных (для данных условий) значений.

4. Полученные элементарные выборки используются для качественного определения геохимического эффекта ГМ преобразований определенного вида, для чего строятся индивидуальные и суммарные графики следующего содержания: а) ось абсцисс — степень замещения (в принятой градации) пород определенного вида и определенного геологического подразделения статистически устойчивой эпигенетической минеральной ассоциации конкретной метасоматической зоны или суммы однотипных зон; б) ось ординат — кларки концентрации, рассчитанные по средним содержаниям элементов-примесей в выборках по при-

нятым градациям изменения пород (см. рис. 3). Для унификации значений рекомендуется использовать кларки А. П. Виноградова для земной коры.

5. Интерпретация полученных графиков включает оценку «положительной» или «отрицательной» геохимической направленности преобразования пород. Для этого сравниваются графики по разным исходным породам в пределах одной или однотипных зон изменения. При получении устойчивого расходящегося веера линий (см. рис. 3) определяется положительная геохимическая направленность изменений, свойственная областям разгрузки гидротермальных систем. Элементы, характеризующиеся однонаправленным и наиболее высокоградиентным нарастанием K_c , выделяются в качестве элементов привноса и концентрирования данным ГМ процессом и рассматриваются в качестве потенциально рудообразующих. При получении устойчивого «сходящегося пучка» линий (см. рис. 3) определяется отрицательная геохимическая направленность изменений, свойственная областям питания гидротермальных систем. На этих графиках элементы, устойчиво снижающие свои K_c по мере усиления степени изменения пород, рассматриваются в качестве элементов выноса, то есть элементов рудоносной специализации данной области питания гидротермальной системы.

6. Кроме качественной тенденции поведения выявленных элементов привноса и выноса в определенных зонах ГМ преобразования пород, необходимо оценить масштабы установленного процесса. Зная среднее содержание элемента в элементарных выборках (C_i) с фиксированной степенью изменения определенных пород, легко рассчитать предполагаемое содержание в неизменной породе этого же вида (C_{in}) и приращение содержания в зависимости от степени замещения: $\Delta C_{i(1)} = C_{i(1)} - C_{in}$; $\Delta C_{i(2)} = C_{i(2)} - C_{in}$ и т. д. Следовательно, средневзвешенный коэффициент привноса—выноса для данного вида породы определится так: $\Delta C_i = \Delta C_{i(1)} S_{i(1)} + \Delta C_{i(2)} S_{i(2)} + \dots + \Delta C_{i(7)} S_{i(7)}$, а коэффициент привноса—выноса для метасоматической зоны в целом будет иметь вид:

$$\Delta C = \frac{1}{S} (\Delta C_1 S_1 + \Delta C_2 S_2 + \dots + \Delta C_n S_n).$$

При этом для зон привноса ΔC имеет знак (+), а для зон выноса (—). Зная средневзвешенный коэффициент привноса—выноса и площадь зоны, можно в первом приближении оценить масштаб процесса коэффициентом $\Delta C \cdot S$, т. е. площадной продуктивностью, но лучше перейти к определению количества привнесенного или извлеченного рудного элемента ГМ процессом (Q). Это количество определяется $Q = \rho \Delta C V \cdot 10^3$, где ρ — плотность пород, г/см³; ΔC — коэффициент привноса—выноса, г/т; V — объем зоны изменения, км³; Q — количество перемещенного металла (в тоннах). Величина V оценивается на основе геомет-

рических реконструкций зон изменения с учетом ее эродированной части, что не всегда можно надежно определить. Поэтому чаще используется реально измеренная величина S и условное третье измерение h (в простейшем варианте $h=1$ км). Таким образом величина Q в общем случае определяется измеряемыми с необходимой точностью значениями ρ , ΔC и S , условным значением третьего измерения (h) или реконструируемой величиной V .

7. Величина Q , рассчитанная по отдельно взятому рудному элементу (или по ассоциации элементов близкого поведения в гидротермальном процессе), позволяет выявить и количественно охарактеризовать баланс вещества в сопряженных областях питания (Q^-) и разгрузки (Q^+) гидротермальной палеосистемы. В основе этого анализа лежит выделение сближенных в пространстве и времени зон ГМ преобразования, обусловленных определенным геологическим событием (внедрением плутона, становлением вулкано-тектонической структуры, конкретной тектонической перестройкой и т. п.). Такие системы сопряженных метасоматических зон предложено называть региональными метасоматическими формациями (РМФ) [13] или в конкретном географическом и возрастном выражении — гидротермально-метасоматическими комплексами. Сопряженные зоны таких систем характеризуются близкими значениями абсолютных величин Q^- и Q^+ по ведущим рудным элементам. На этом базируется разработанный авторами метод подсчета прогнозных ресурсов рудообразующих гидротермальных систем [17, 18].

4. ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И УЗЛОВ

Потенциальная рудоносность гидротермальных систем определяется:

а) видом и геологическими условиями проявления РМФ или конкретного ГМ комплекса, лимитирующих возможные виды рудных формаций и барьеры их предполагаемой локализации в структуре сопряженных метасоматических зон;

б) размерами и продуктивностью ареалов изменения, что выражается их площадью или объемом, средней степенью замещения, общим количеством наработанного гидротермального вещества, дифференцированностью его распределения в зоне разгрузки, размерами и видами тел ареальных и рудных гидротермалитов;

в) характером распределения и ассоциативностью элементов-примесей, средним уровнем их содержаний в объеме системы, то есть геохимической специализацией системы, ее геохимическими ресурсами;

г) сравнительным характером распределения и ассоциативностью элементов-примесей в сопряженных метасоматических зонах, истощенностью геохимических ресурсов областей питания и аномальностью геохимических ресурсов областей разгрузки;

д) значениями средневзвешенных по зонам коэффициентов выноса и привноса элементов потенциальной рудоносности системы, величинами их выноса (Q^-) из реконструируемых объемов областей питания и привноса (Q^+) в реконструируемые объемы областей разгрузки, при сопоставимости по абсолютной величине;

е) отношением современного объема области разгрузки к ее реконструируемому объему, внутренней структурной области разгрузки, положением барьеров;

ж) кондициями на содержание и запасы искоемых месторождений в данных геолого-экономических условиях.

Таким образом, в качестве главных параметров количественной оценки прогнозных ресурсов могут быть перечислены следующие:

- | | |
|---|--|
| 1) среднее содержание элемента в зоне или системе, | C , г/т; |
| 2) коэффициент привноса-выноса элемента в зону, | $\pm \Delta C$, г/т; |
| 3) площади метасоматической зоны или системы на карте, | $S_{сов.}$, км ² ;
$V_{сов.}$, км ³ ; |
| 4) реконструированный объем зоны или системы, современный, | $V_{пол.}$, км ³ |
| 5) реконструированный объем зоны или системы, полный, | ρ , г/см ³ |
| 6) средняя плотность пород в зоне или системе, | |
| 7) количество элемента, вынесенного из зоны или привнесенного в зону $V_{сов.}$, | $\pm Q_{сов.}$, т |
| 8) количество элемента, вынесенного из зоны или привнесенного в зону $V_{пол.}$, | $\pm Q_{пол.}$, т |
| 9) геохимические ресурсы зоны или системы, | θ , т |
| 10) масса гидротермального вещества, наработанного системой, | m , т |
| 11) прогнозные ресурсы системы (рудного узла), или зоны разгрузки (рудного поля), | P_3 , т
P_2 , т |

Остановимся на краткой характеристике основных параметров.

1. Площадь сечения эрозионной поверхностью ($S_{сов}$) ГМ систем составляет десятки — первые тысячи (оптимально сотни) квадратных километров. При этом площади зон питания обычно в 1,5 и более раз превышают площади зон разгрузки, что отражает не только обычно меньшие объемы зон разгрузки, но и их большую эродированность как верхних составляющих вертикальной зональности. В общем случае современные сечения — наиболее объективно измеряемые параметры — косо секут формационные тела, характеризуя тем самым и вертикальную составляющую гидротермальной системы. Поэтому отмеченные соотношения современных сечений зон разгрузки и питания устойчиво проявляются и в соотношениях объемных величин ($V_{сов}$ и $V_{пол.}$). Частные от деления $V_{пол.}$ на $S_{сов}$ дают величину

условного третьего измерения (глубину — h), которая по имеющимся реконструкциям достигает 2—5 км [18].

2. Второй объективно измеряемый параметр — содержание металла в системе и ее зонах. Повсеместно содержание металла в системе в целом имеет близкларковое слабо повышенное значение ($K_k \approx 1,5—2,5$), отражая геохимическую специализацию перерабатываемых исходных пород в объеме системы, что является первым необходимым условием ее потенциальной рудоносности. На этой основе определяются общие геохимические ресурсы системы (θ).

Если последние оцениваются в сотни тыс. и миллионы тонн, то можно предположить возможность развития в системе практически значимого рудообразующего процесса.

3. Реконструкция полных ($V_{пол}$) и современных ($V_{сов}$) объемов зон системы в целом базируется на многих допущениях и относится лишь к той геометрической модели, которая построена. Следовательно, без приведения масштабных блок-диаграмм и их сечений числовые значения вычисленных объемов малодостоверны и их корректнее заменить условными производными от площади современного сечения ($V'_{пол} = S_{сов} \cdot h$), где h — величина, требующая дополнительного обоснования). Истинные значения $V_{пол}$ и $V_{сов}$ являются важнейшими параметрами гидротермальных систем, определение которых является основой оценки их продуктивности вообще и рудоносности в частности. Только знание полных объемов сопряженных зон позволяет оценить баланс перемещения вещества ($Q^- \approx Q^+$) и определить генетическую модель рудообразования в гидротермальных системах за счет их геохимических ресурсов. Очевидно, что в рамках этой модели прогнозные рудные ресурсы системы не могут быть больше величины Q^- , т. е. количества металла, вынесенного из зоны питания. Кроме того, по отношению $V_{сов}/V_{пол}$ зоны разгрузки можно судить о степени сохранности этого баланса к настоящему времени. Эта величина может варьировать от 1 до 0,1 и менее отражая эродированность рудовмещающей зоны.

4. Величина средневзвешенного коэффициента привноса-выноса ($\pm \Delta C$) определяется надежнее, чем объемы системы, так как эрозионная поверхность, как правило, расположена косо по отношению к вертикальной оси системы. В других вариантах ошибки могут быть также весьма значительными. Значения ΔC соразмерны величинам кларков и редко превышают последние более чем в 2 раза, а иногда составляют лишь доли кларка.

Вычисление величины прогнозных ресурсов основывается на том, что общее количество металла, вынесенного из зоны питания (Q^-), численно равно общему количеству металла, привнесенного в зону разгрузки (Q^+), но последнее частично рассеивается в объеме зоны разгрузки, частично накапливается на

различных уровнях содержаний, осуществляя ступенчатое концентрирование вплоть до рудных скоплений.

Отметим некоторые варианты расчета, которые могут быть использованы на практике.

1. $P = Q^-_{пол} - Q^+_{пол}$. Если предположить, что ΔC^+ определяется преимущественно по малоцентрированным накоплениям металла в зоне разгрузки, то избыток вынесенного металла можно рассматривать как рудные скопления, не фиксируемые сетью опробования. Практически P и Q разнопорядковые величины и реальная точность исследования не обеспечивает такой подход, хотя в благоприятных условиях может иметь место.

2. $P = (C^+/C_p) Q^{\pm}_{пол}$. Полагая, что прогнозные ресурсы прямо пропорциональны количеству перемещенного металла ($Q^{\pm} = (|Q^+| + |Q^-|)/2$) принимаем за коэффициент пропорциональности отношения между средним содержанием металла в зоне разгрузки (определенном по дискретной сети опробования) и средним содержанием металла в прогнозируемом рудном теле. Практически при этом получается, что P составляет единицы или более мелкие доли процентов от Q , что в общем согласуется с опытными данными, но, видимо, величина C^+ при этом не соответствует истинному среднему содержанию в зоне разгрузки, а значителен меньше его из-за исключения аномальных значений. В итоге P в этом варианте имеет тенденцию к занижению.

3. $P = \gamma/C_p$, где $\gamma = \theta_c C_c = \theta^+ C^+ = P C_p$.

Обратная пропорциональность между количеством металла и его содержанием в компонентах одной природной системы утверждается опытом геохимических исследований (Овчинников, 1971 и др.). θ_c — общее количество металла в системе метасоматических зон со средним содержанием C_c ; θ^+ — количество металла в одной из зон данной системы со средним содержанием C^+ ; P — количество металла в компонентах этой же системы с содержанием, равным рудной кондиции — C_p . Рассчитав коэффициент γ по первым двум произведениям, используем его для оценки прогнозных ресурсов (P). Теоретически это наиболее надежная оценка, если γ рассчитана по большому числу компонентов системы и имеет при этом соразмерные значения.

4. $P = \alpha Q^{\pm}_{пол}$. В самом общем виде зависимость между количеством перемещенного металла и его долей, сконцентрированной до уровня месторождений, может быть связана эмпирическими коэффициентами (α), рассчитанными по конкретному материалу реальных рудных узлов и полей. Но, к сожалению, пока таких расчетов мало и они недостаточно надежны.

Для практического использования в настоящее время можно рекомендовать варианты 2 и 3. В принципе они идентичны друг другу, если более строго подойти к оценке средних. Следует подчеркнуть, что в данном случае генетическая модель сопряженности зон выноса и зон привноса рудного элемента не иг-

Основные параметры для расчета прогнозных ресурсов свинца по потенциально рудному полю

Гидротермальная система	$S_{сов.}$, км ²	$V_{сов.}$, км ³	$V_{пол.}$, км ³	ρ , г/см ³	C , г/т	θ , тыс. т	ΔC , г/т	Q , тыс. т
Зона альбитофи- ров (область пи- тания)	47,5	83,8	125,9	2,5	18,1	—	-6,9	2172
Зона березитов— аргиллизитов (об- ласти разгрузки)	20,0	15,0	53,0	2,6	37,8	$5,2 \cdot 10^3$	+12,8	1764
Система в целом	67,5	98,8	178,9	2,6	23,4	$10,9 \cdot 10^3$	—	—

Тогда $P = \frac{225,8 \cdot 10^3}{10^3} = 225,8$ тыс. т Pb. Однако в современ-
ном виде зона разгрузки значительно эродирована: $V_{сов.}/V_{пол.} = 0,28$.

Следовательно, можно предположить, что реальные прогноз-
ные ресурсы ($P_{сов.}$) пропорционально меньше P .

$$P_{сов.} = 0,28 \cdot P = 63,2 \text{ тыс. т металла.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные методические приемы геологического картиро-
вания и анализа ГМ образований в совокупности с их целена-
правленным геохимическим изучением должны способствовать
выполнению общих поисков гидротермального оруденения при
ГСР-50. Близкие приемы могут быть доработаны для других ви-
дов эпигенетического оруденения, главным образом для гидро-
термно-инфильтрационного.

В настоящее время эти приемы апробированы в основном для
фанерозойских складчатых областей, в меньшей степени для
активизированных блоков докембрия и не использовались для
чехольных образований. Основными объектами изучения при
этом явились определившиеся рудные районы с хорошо опоско-
ванной поверхностью. Поэтому целевая направленность данных
исследований определяется прогнозно-поисковыми работами на
перекрытое, глубокозалегающее или многоярусное оруденение,
на выявление объектов непрофилирующих в районе полезных
ископаемых, на прогнозирование новых структурных обстано-
вок возможной локализации месторождений нетипичных для

рает принципиального значения. Прогнозные ресурсы могут
быть определены по строению одной только зоны привноса, так
как коэффициент γ рассчитывается по соотношениям площад-
ных продуктивностей.

5. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ ГМ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ГСР-50 С ОБЩИМИ ПОИСКАМИ

5.1. Комплект карт рудного района

В качестве иллюстрации рассмотренных методических прие-
мов картирования и геолого-геохимического изучения рудонос-
ных ГМ образований при ГСР-50 с общими поисками прилага-
ется комплект уменьшенных и упрощенных карт по Прииртыш-
скому району Рудного Алтая (рис. 4—9). Комплект включает
в себя: а) генерализованную геологическую основу без чехла
рыхлых отложений с указанием положения месторождений;
б) схему региональной метасоматической зональности, включаю-
щую гидротермальные системы альбитофир-березитовой,
скарн-пропилитовой и пропилит-серицитолитовой РМФ;
в) схему геохимической специализации основных блоков района;
г) схему аномального геохимического поля с выделением зон
выноса и зон привноса элементов; д) схему прогнозного райо-
нирования, точнее схематизированную металлогеническую карту
рудных полей и узлов; е) собственно прогнозную схему рудо-
носных площадей с прогнозными ресурсами (в условных еди-
ницах) по отдельным участкам.

Перечисленные карты не полностью соответствуют ГСР-50,
но представить законченные планшеты масштаба 1:50 000
к рассмотренным временным рекомендациям технически слож-
но, хотя и необходимо при общем завершении работы над ними.

5.2. Расчет прогнозных ресурсов (P_2) рудного поля

В качестве образца синтезирующей карты приведена схема
перераспределения свинца в системе сопряженных метасомати-
ческих зон альбитофиоров и березитов (рис. 10—13) с рекон-
струкцией их первоначальных объемов (см. рис. 11) и расче-
том прогнозных ресурсов потенциального рудного поля
(табл. 6).

Выбираем 3-й вариант расчета прогнозных ресурсов: $P =$
 $= \gamma / C_p$. Принимаем $C_p = 1 \cdot 10^3$ г/т = 0,1 %. Рассчитываем:

$$\gamma = \frac{\theta_c \cdot C_c + \theta^+ \cdot C^+}{2} = \frac{10,3 \cdot 10^3 \cdot 23,4 + 5,2 \cdot 10^3 \cdot 37,8}{2} = 225,8 \cdot 10^3.$$

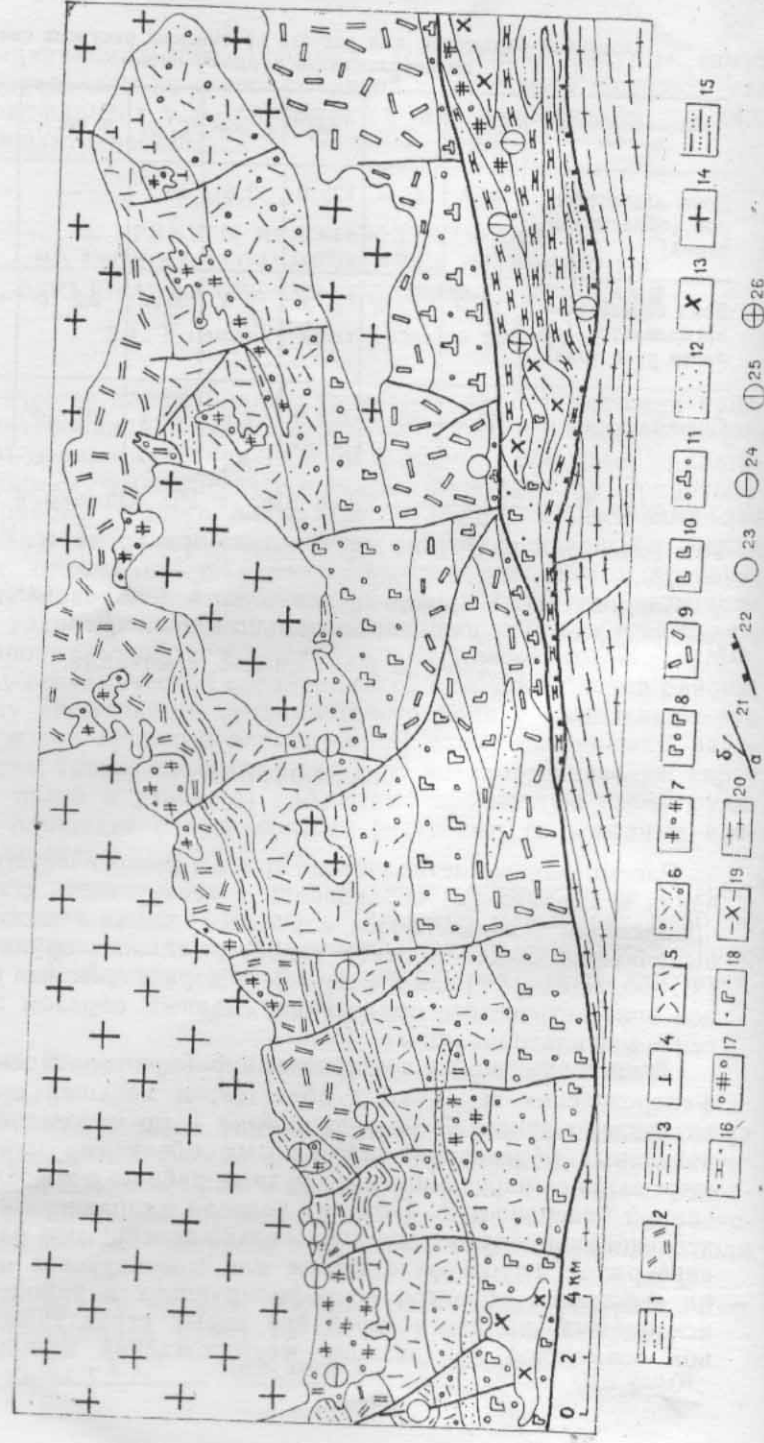


Рис. 4. Схема геологического строения центральной части Прииртышского района Рудного Алтая (составлена с использованием материалов Прииртышской ГРЭ).

Геологические образования в пределах Алейской подзоны Рудно-Алтайской СФЗ: 1—7 — морская базальт-риолитовая формация; 1 — лосишинская свита, D_{2e2} (туфопесчаники, туфоалевролиты и туфы дацит-риолитов); 2 — таловская свита D_{2gv} (лавы и лавобрекчии дацит-риолитов); 4—5 — каменевская серия, D_{2f1-2} (β — кремнисто-глинистые сланцы, туфоалевролиты; 4 — лавы, кластолавы и туфы андезит-базальтов; 5 — лавы, кластолавы дацит-риолитов); 6 — снегиревская свита, D_{2f3} (туфы, кластолавы риолитов, туфопесчаники); 7 — субвулканический комплекс риолитов и дацит-риолитов, D_{2-3} ; 8—11 — островная дацит-андезитовая формация, пихтовская свита, D_{2fm} (δ — туфоконгломераты, туфопесчаники, лавы андезитов; 9 — лавобрекчии, кластолавы дацитов, 10 — диабазы, габбро-диабазы; 11 — туфы, кластолавы и лавы андезитов); 12 — терригенная нижнемолассовая формация, малюльбинская свита, C_{1-2} (углистые аргиллиты, песчаники, конгломераты); 13—14 — габбро-диорит-плагногранитовая формация, змеиной горы комплекс, C_{2-3} (13 — диориты, кварцевые диориты, 14 — граиодиориты, плагнограниты). Геологические образования в пределах Иртышской подзоны Калба-Нарымской СФЗ: 15—17 — морская базальт-риолитовая формация; 15 — шипулинская свита, D_{2e-gv} (глинистые графитизированные сланцы, известняки); 16 — иртышская свита, $D_{2gv-D_{2f1}}$ (порфириты по кластолавам и лавам дацит-риолитов); 17 — порфириты по субвулканическим риолитам, D_{2e} ; 18 — порфириты по дацит-андезитам пихтовской свиты (островная дацит-андезитовая формация), D_{2fm} ; 19 — разней сованные кварцевые диориты и граиодиориты змеиной горы комплекса, C_{2-3} (габбро-диорит-плагногранитовая формация); 20 — кристаллические сланцы, мезо- и лейкократовые гнейсы, гнейсо-граниты по песчанкам и алевролитам орловской свиты (?), D_{2e} . Разрывные нарушения: 21 — разломы (a — главные, b — второстепенные), 22 — надвиги. Колчеданные месторождения: 23 — собственно вулканогенные медные и медно-цинковые («николаевский» тип), 24 — вулканогенно-плутоногенные медные и полиметаллические («таловско-рулихинский» тип), 25 — вулканогенно-тектонические полиметаллические («иртышский» тип), 26 — вулканогенно-тектоногенно-плутоногенные полиметаллические («ново-березовский» тип).

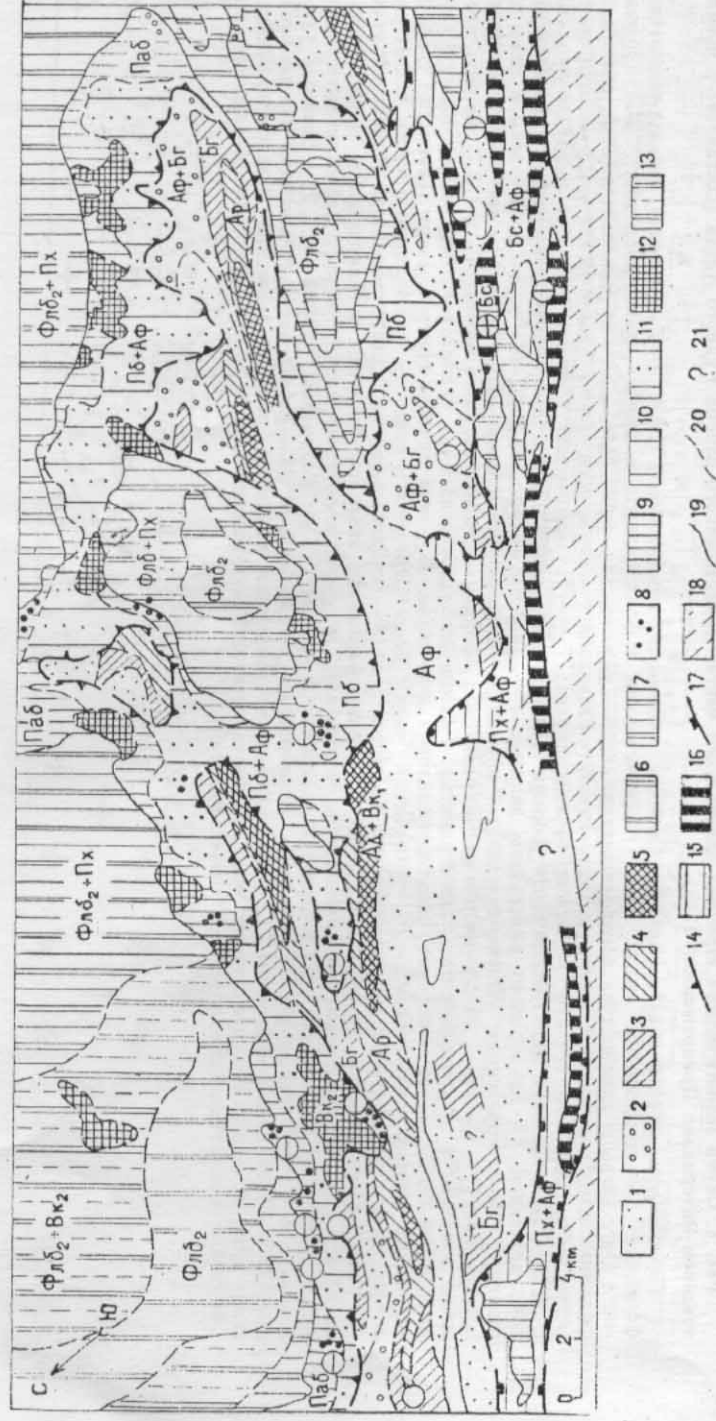


Рис. 5. Схема строения региональной метасоматической зональности (РМЗ) центральной части Приртымского района на Рудном Алтае.

Зоны развития ГМ образований альбитофир-березитовой РМФ, Ду-С₁: 1 — альбитофиры — Аф (кварц + альбит ± хлорит, карбонат), 2 — совмещение альбитофиров с гидросерпичитовыми березитами — Аф + Бг (участки интенсивного гидробонат + хлорит ± пирит), 3 — гидросерпичитовые березиты — Бг (кварц + гидросерпичит + карбонат + хлорит ± пирит), 4 — аргиллизиты — Аф (кварц + гидро серпичит + каолинит); 5 — адуляриты — Ад (кварц + адулярит ± гидросерпичит) в совмещении с подчиненными каолинит-алу нитовыми вторичными кварцитами — Вк₂. Зоны развития ГМ образований скарн-пропилитовой РМФ, С₂-з: 6 — биотитовые фельдшпатолиты с хлоритовыми пропилитами — Флδ₂ (кварц + калишпат + биотит ± альбит) новые метасоматиты — Ск (гранат + пироксен + амфибол ± кварц); 7 — эпидот-биотитовые пропилиты с альбитофирами — Флδ₂ + Пх; 8 — скарны, скарноиды и апоскарны — Паδ (эпидот + амфибол + биотит ± кварц); 9 — амфибол-биотитовые пропилиты с альбитофирами — Флδ₂ + Пх; 10 — эпидот-биотитовые пропилиты с альбитофирами — Пб + Аф; 11 — эпидот-биотитовые пропилиты с амфибол ± кварц; 12 — андалузит-мусковитовые пропилиты с мусковитом — Флδ₂ + Вк₂; 13 — контур распространения ГМ образований альбитофир-серпичитоидовой РМФ, РЗ₂-з: 14 — контур распространения ГМ образований альбитофир-серпичитоидовой РМФ, РЗ₂-з; 15 — совмещение хлоритовых и кварц-карбонатных метасоматитов с подчиненными альбитофирами — Пх + Аф; 16 — серпичитовые с подчиненными кварц-хлорит-карбонатными метасоматитами стадии осадчения — Бс (кварц + серпичит + мусковит + хлорит ± карбонат, пирит, альбит); 17 — контур распространения ГМ образований пропилит-серпичитоидовой РМФ; 18 — ГМ образования других РМФ; 19 — совпадающие с границами геологических тел, 20 — не совпадающие (собственные); 21 — неузученные участки.

Обозначения месторождений см. на рис. 4.

ВВЕДЕНИЕ

Переход геологической службы страны на качественно новый этап регионального изучения территории СНГ с составлением Госгеолкарты-50 предусматривает первоочередное сосредоточение этих работ в важнейших горнорудных районах. Эти работы должны обеспечить районы действующих горнодобывающих предприятий надежной геологической основой для решения разнообразных народнохозяйственных задач (включая экологические), а также для всестороннего опосредования соответствующих территорий на весь комплекс полезных ископаемых (общие поиски).

В 1986 г. введена в действие новая инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Госгеолкарты СССР м-ба 1:50 000 (1:25 000). Накапливается опыт выполнения этих работ. Однако особенности их проведения в районах действующих горнодобывающих предприятий в отличие от менее освоенных территорий не получили до настоящего времени необходимой регламентации. В то же время очевидно, что в освоенных горнорудных районах задачи геологической съемки и общих поисков значительно сложнее. Их решение требует больших материальных затрат и, главное, большей достоверности. Выход в таких районах на качественно новые уровни обоснования минерально-сырьевого потенциала невозможен без применения нетрадиционных методов геологических исследований, без привлечения дополнительного фактического материала, без использования современных технологий хранения и обработки получаемой информации.

Одна из таких методик — методика крупномасштабного картирования и комплексного геолого-геохимического изучения рудоносных гидротермально-метасоматических (ГМ) образований в полном объеме их проявления, разработанная во ВСЕГЕИ, может быть эффективно использована при проведении ГСР-50 с общими поисками в горнорудных и потенциально рудных районах складчатых областей СНГ [13].

На данный момент крупномасштабные геологосъемочные работы в целом обеспечены инструктивными и методическими разработками [2, 6, 19]. Однако в этих документах не получили должного освещения методические приемы по изучению рудоносных гидротермально-метасоматических (ГМ) образований, составляющих самостоятельный класс горных пород. Краткие разделы в методических указаниях [2] не отражают всего многообразия обстановок и форм проявления ГМ образований и со-

держат лишь общие сведения об особенностях изучения этих пород при ГСР-50. Вопросы же геологического картирования ГМ образований не рассматриваются вовсе. За период, прошедший с момента выхода в свет указанных выше методических указаний, достигнут заметный прогресс в изучении гидротермально-метасоматических образований: показана сопоставимость масштабов проявления процессов гидротермальной деятельности с другими петрогенетическими процессами, разработаны классификации ГМ образований на породном и формационном уровнях и приемы их геологического картирования, составлены оригинальные карты, отражающие особенности пространственного размещения ГМ образований и их связи с эндогенными рудными объектами, предложены методики подсчета прогнозных ресурсов по петрографо-геохимическим данным [13]. Однако в практику ГСР-50 эти разработки внедряются медленно вследствие недостаточной конкретности рекомендаций по картированию и изучению ГМ образований по стадиям геологоразведочного процесса, видам ГСР-50 и этапам их проведения.

Эти пробелы и призваны восполнить настоящие методические рекомендации.

Рекомендации составлены Г. М. Беляевым, Е. В. Плющевым и В. В. Шатовым. Кроме собственных данных, авторами использованы материалы работ по изучению рудных районов и узлов в масштабах 1:50 000—1:25 000 А. П. Мотова, В. А. Михайлова, О. П. Ушакова, С. В. Кашина и других сотрудников отрасли. Авторами использованы материалы специальных школ-семинаров, проведенных ими в ряде Казахских ПГО, лекций на курсах повышения квалификации во ВСЕГЕИ и ЛГИ, а также материалы всесоюзных совещаний по метасоматизму и рудообразованию. Кроме того, учтены результаты подобных исследований, выполненных по Уралу (О. П. Грязнов), Забайкалье (В. П. Рогова), Армении (С. О. Ачикгезян), Западной Сибири (Л. П. Рихванов), Рудному Алтаю (В. Б. Чекваидзе), Казахстану (С. С. Наумов), Кавказу (И. П. Ратман) и другим регионам.

В настоящее время во многих ПГО страны работы, подобные рассматриваемым ниже, проводятся в больших или меньших объемах. Их необходимость понятна большинству геологов, нацеленных на прогнозно-поисковые работы. Затруднения заключаются в недостаточной обеспеченности приборами и лабораторной базой, в дефиците специалистов, в неразработанности проектно-сметной документации. Видимо, имеются недостатки и в обеспечении подобных работ методическими и инструктивными материалами. На местах решаются многие вопросы, требующие и общепромышленной регламентации и унификации. Существует разноречивость в подходах и теоретических предпосылках. Все это послужило основанием для подготовки специальных методических реко-

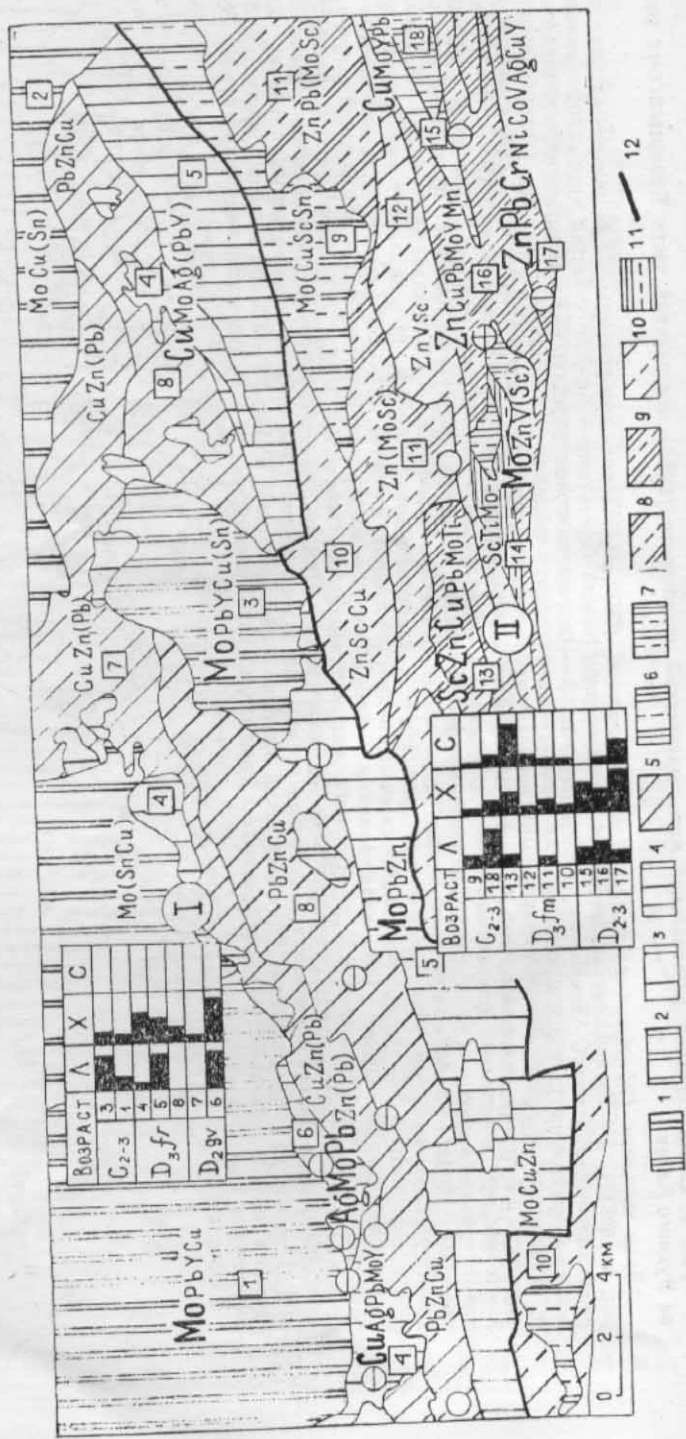


Рис. 6. Схема геохимической специализации пород центральной части Пригорного района Рудного Алтая. На врезках — схематизированные геохимические колонки соответственно для Николаевско-Бузанинского и Пихтовско-Иртышского геохимических блоков.

Геохимический тип специализации пород: 1—2 — халько литофильный (ХЛ) с уровнем концентрации элементов-примесей $R=1,1 \div 1,5$ (1) и $R > 1,5$ (2); 3—4 — литохалькофильный (ЛХ) с $R=1,1 \div 1,5$ (3) и $R > 1,5$ (4); 5 — халькофильный (Х) с $R=1,1 \div 1,5$; 6—7 — сидерохальколитофильный (СХЛ) с $R=1,1 \div 1,5$ (6) и $R > 1,5$ (7); 8—9 — литосидерохалькофильный (ЛСХ) с $R=1,1 \div 1,5$ (8) и $R > 1,5$ (9); 10 — сидерохалькофильный (СХ) с $R=1,1 \div 1,5$; 11 — литосидерофильный (ЛС) с $R=1,1 \div 1,5$; 12 — граница между геохимическими блоками.

Цифры на схеме и геохимических колонках: массивы: 1 — Межовский; 2 — Центральный; 3 — Бузанинский; 4 — Веселовский; 5 — Весселовский; 6 — лосишинская; 7 — таловская; 8 — каменевская; 9 — субвулканические дацито-риолиты; свиты: 5 — снежиревская; 6 — лосишинская; 7 — таловская; 8 — каменевская; 16 — иртышская; 17 — шипулинская; 10—14 — составляющие пихтовской свиты; 15 — субвулканические дацито-риолиты; 18 — разгнейсованные кварцевые диориты змеиногорского комплекса.

Геохимические блоки: I — Николаевско-Бузанинский литохалькофильный [ХЛ+ЛХ+Х], II — Пихтовско-Иртышский сидерохалькофильный [СХЛ+ЛС+ЛХ+СХ+ЛСХ]. Обозначения месторождений см. на рис. 4.

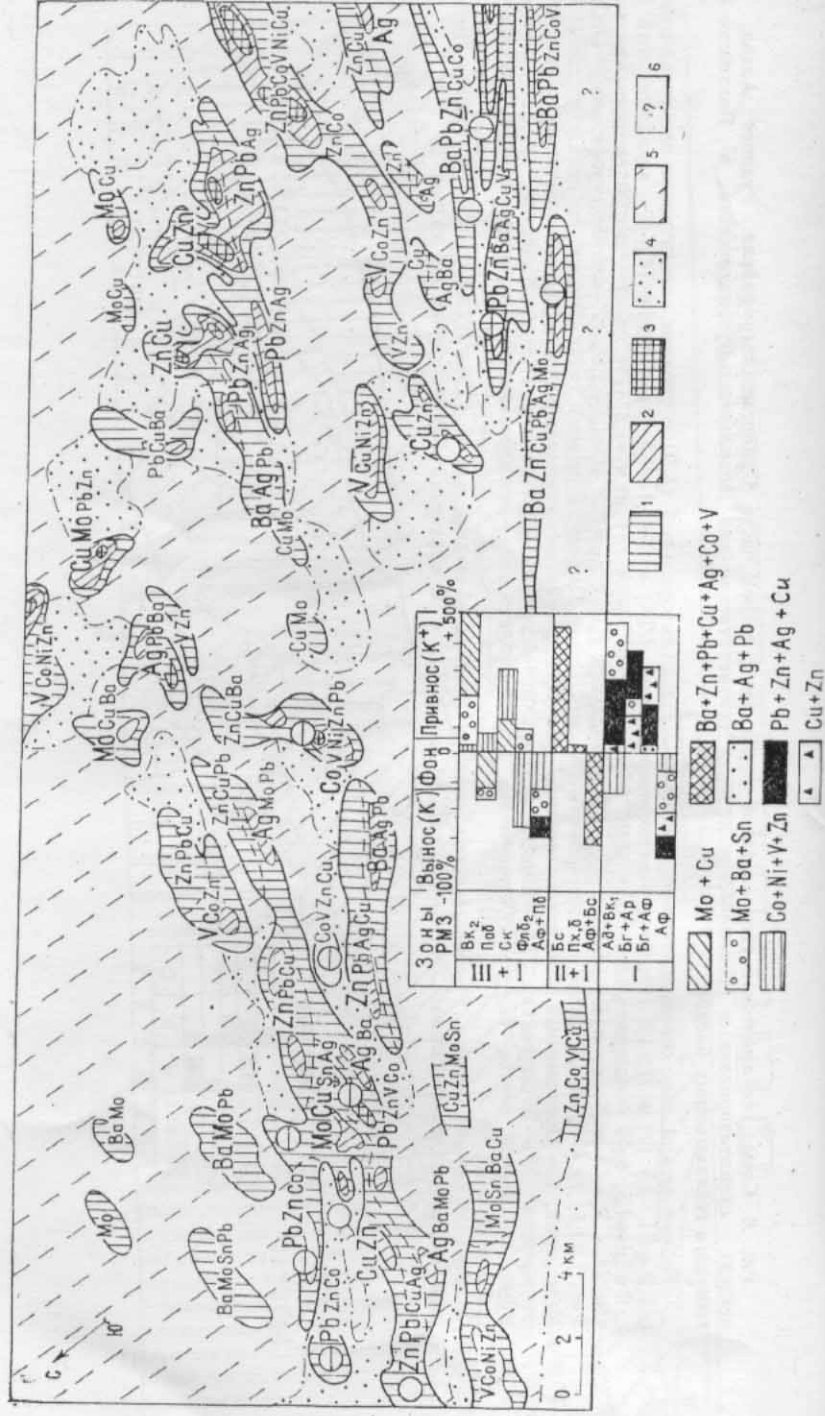


Рис. 7. Схема строения аномального геохимического поля центральной части Припиртшского района Рудного Алтая. На врезке — диаграмма привноса — выноса элементов-примесей для различных составляющих РМЗ района.

Составляющие аномального геохимического поля: 1—3 — положительные геохимические аномалии с уровнем накопления элементов-примесей относительно фона: (1,5÷2,5) Сф — 1-й уровень аномальности (1), (2,5÷5,0) Сф — 2-й уровень аномальности (2), >5,0 Сф — 3-й уровень аномальности (3); 4 — отрицательные аномалии Cu, Zn, Pb, Ag, Mo и Ba с уровнем концентрации <0,6 Сф; 5 — фоновый интервал концентраций (0,6÷1,5) Сф; 6 — неизученные участки.

На врезке. Составляющие РМЗ: I — альбитофир-березитовая РМФ, I+II — совмещение альбитофир-березитовой и пропит-серцитолитовой РМФ, I+III — совмещение альбитофи-р-березитовой и скарн-пропитолитовой РМФ. К⁻, К⁺ — средневзвешенные коэффициенты привноса — выноса элементов-примесей. Обозначения месторождений см. на рис. 4.

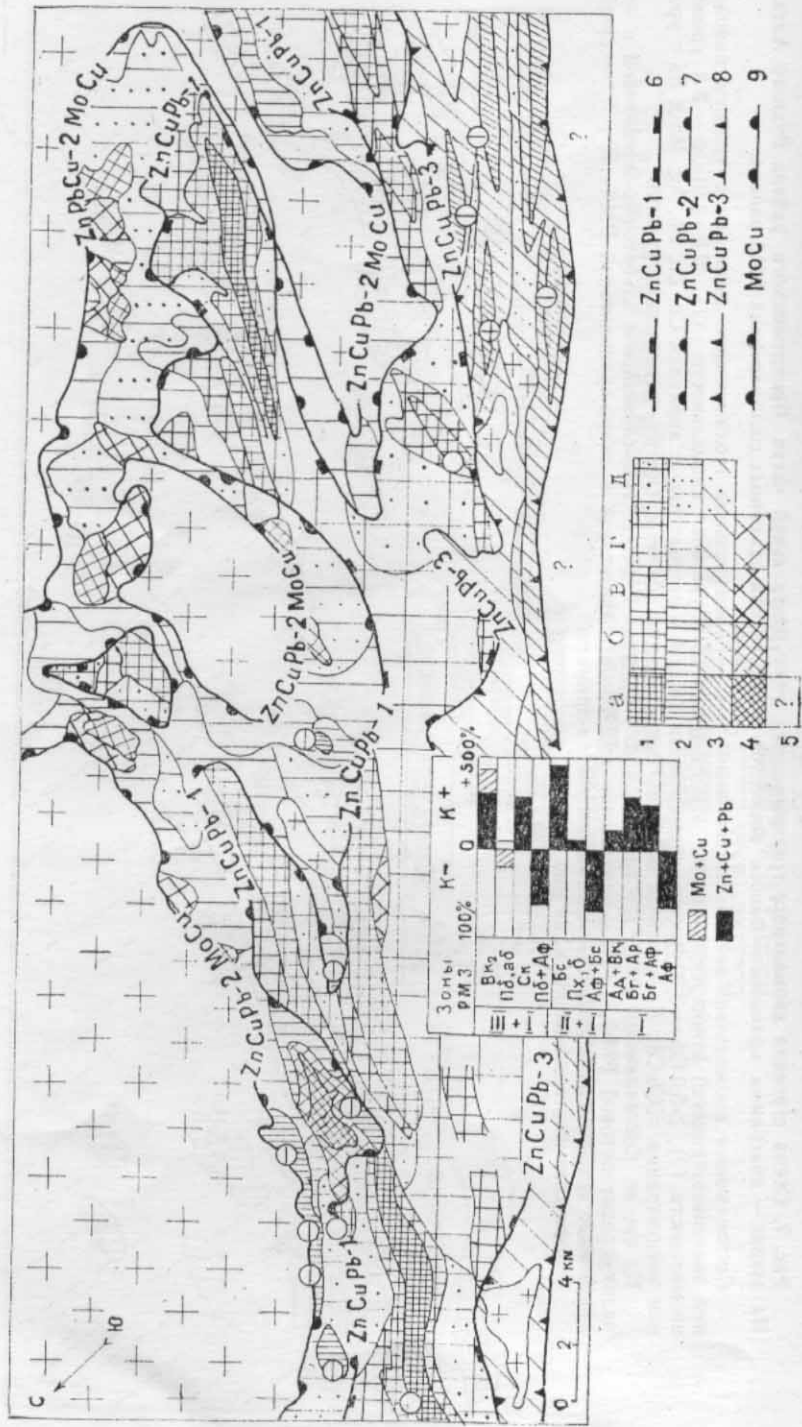


Рис. 8. Схема прогнозного районирования центральной части Прикрынского района Рудного Алтая. На врезке — диаграмма привноса—выноса Zn+Cu+Pb и Mo+Cu для различных составляющих РМЗ района.

Прогнозируемые формационно-генетические типы гидротермального оруденения: 1 — собственно вулканогенный колчеданный медный и медно-цинковый («николаевский» и «чудак овский» нерасчлененные), 2 — вулканогенно-плутоногенный колчеданный медный и полиметаллический («сталовско-рулихи нский»), 3 — вулканогенно-тектоногенный и вулканогенно-тектоногенно-плутоногенный колчеданно-полиметаллические нерасчлененные («иртышский» и «ново-березовский»), 4 — плутоногенный приконтактовый медно-молибденовый (здесь и в предыдущих случаях а—д — категория перспектив, выраженные в значениях средневзвешенных коэффициентов К привноса—выноса Zn+Cu+Pb и Mo+Cu: а — высокая, [K=>+200 %], б — значительная, [K=+100÷+200 %], в — умеренная, K=[+25÷+100 %], г — низкая, [K=-25÷+25 %], д — очень низкая, K=[-100÷-25 %]); 5 — неизученные участки; 6—9 — границы и маркировка прогнозируемых площадей.

На врезке — составляющие РМЗ: I — альбитофир-березитовая РМФ, I+II — совмещение альбитофир-березитовой и пропилит-серцитолитовой РМФ, I+III — совмещение альбитофир-березитовой и скарн-пропилитовой РМФ. К⁻, К⁺ — средневзвешенные коэффициенты привноса—выноса для Zn+Cu+Pb и Mo+Cu.

Обозначения месторождений см. на рис. 4.

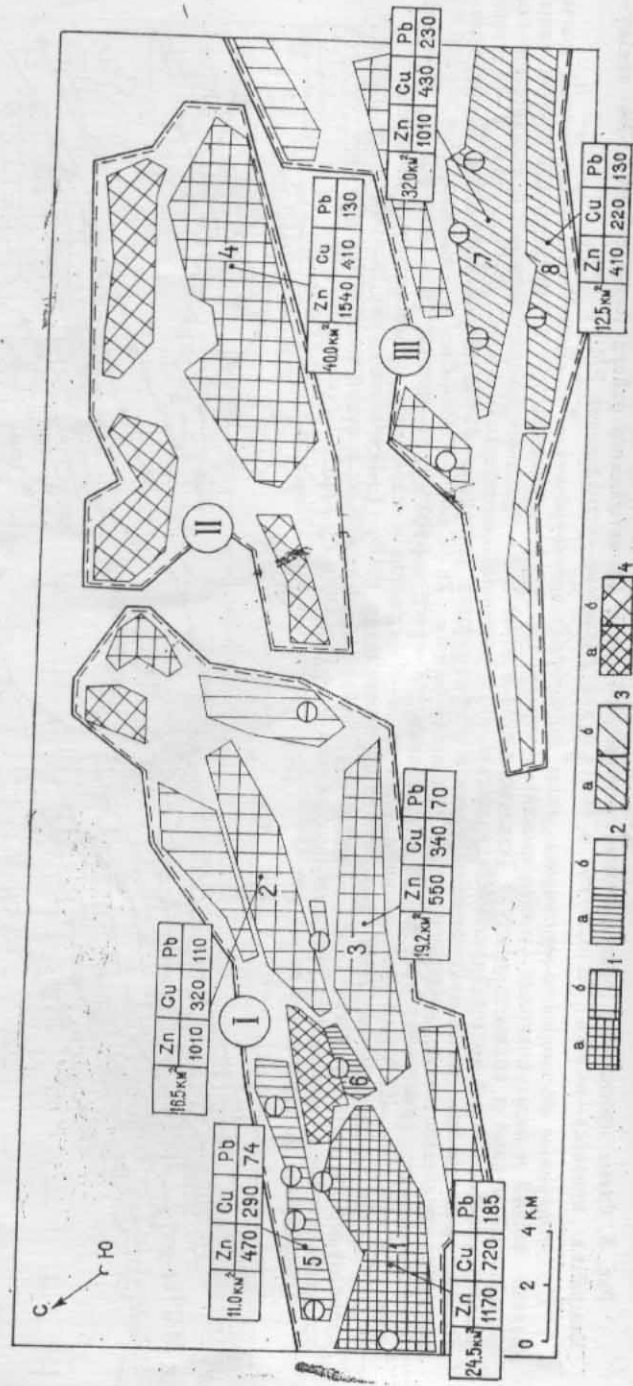


Рис. 9. Схема расположения рудоносных площадей (потенциальных и определенных) рудных полей и узлов) центральной части Прииртышского района Рудного Алтая. На врезках — марки рудоносных площадей с фиксацией площадных размеров и прогнозных запасов по цинку, меди и свинцу (в усл. ед.).

Рудные поля (а — определенные, б — потенциальные): 1 — моногенные собственно вулканогенные колчеданные медные и медно-цинковые; 2 — чужеродно-полигенные вулканогенно-плутоногенные колчеданные медные и полиметаллические; 3 — чужеродно-полигенные вулканогенно-тектонические и вулканогенно-тектоногенно-плутоногенные (нерасчищенные) колчеданные полиметаллические; 4 — моногенные плутоногенные приконтактовые медно-молибденовые.

Определенные и потенциальные рудные узлы (РУ и ПРУ): 1 — Николаевско-Выдрихинский РУ чужеродно-полигенный вулканогенно-плутоногенный колчеданноносный, 2 — Иртышско-Березовский РУ чужеродно-полигенный вулканогенно-тектоногенно-плутоногенный колчеданноносный, 3 — Кожуховский ПРУ чужеродно-полигенный вулканогенно-плутоногенный колчеданноносный.

Определенные (РП) и потенциальные (ПРП) рудные поля (цифры на рисунке): 1 — Николаевское РП, 2 — Снегирихинское РП, 3 — Фалихинское РП, 4 — Кожуховское РП, 5 — Таловское РП, 6 — Рулихинское РП, 7 — Иртышско-Ново-Березовское РП, 8 — Березовское РП.

Обозначения месторождений см. на рис. 4.

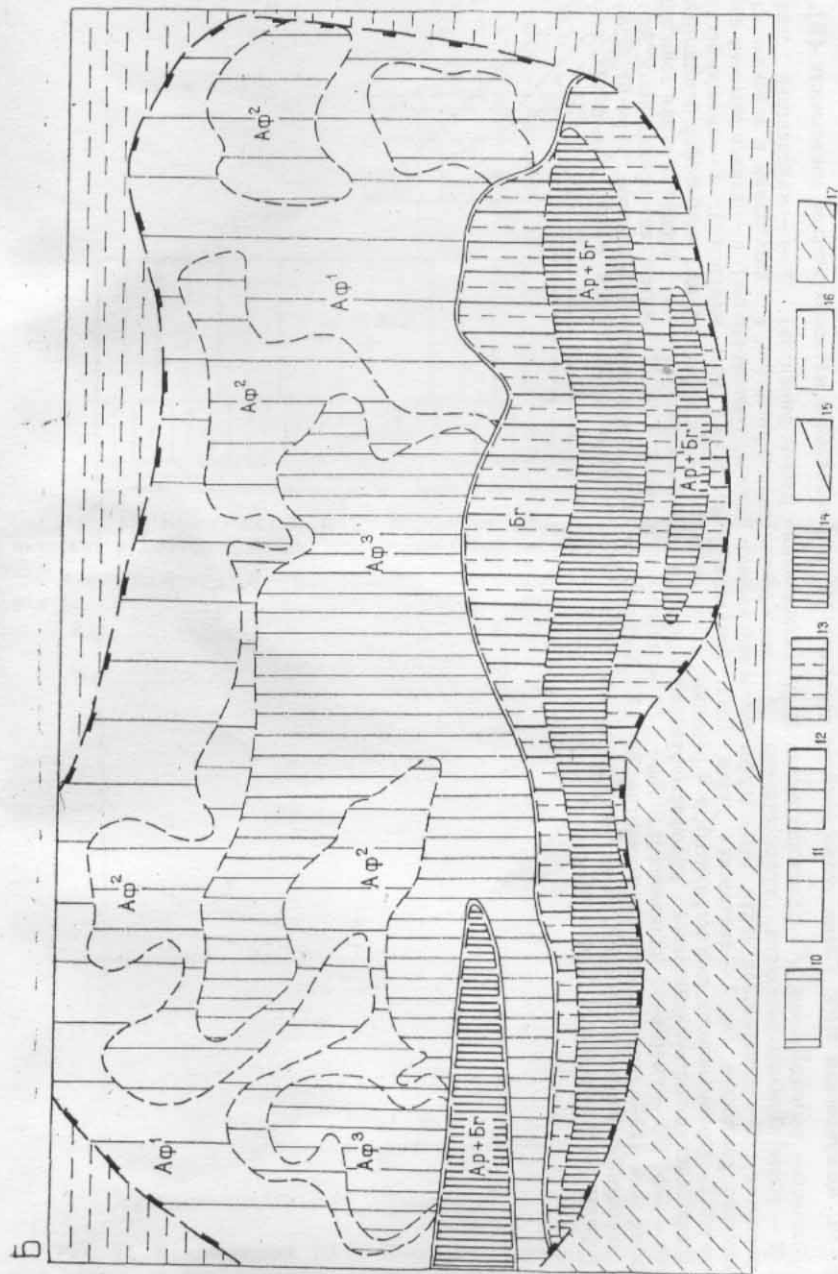
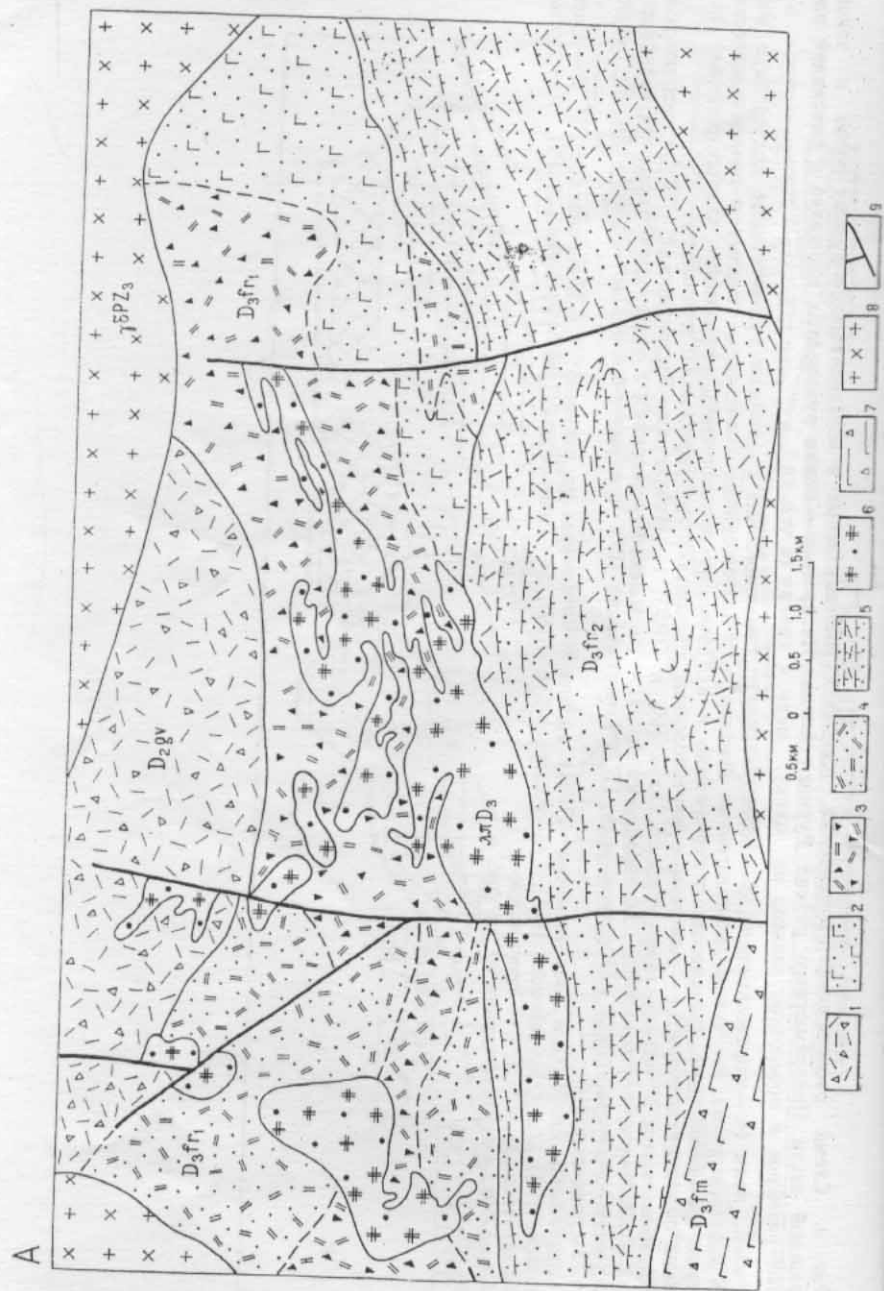


Рис. 10. Кожуховский ПРУ. Схема геологического строения (А) и региональной метасоматической зональности (Б).

Геологические подразделения: 1 — таловская свита, D_2^{Tg} (кластолавы дацито-риолитов); 2—4 — каменевская свита, $D_2^{Gr_1-2}$ (2 — туфы андезито-базальтов, туфопесчанники, $D_2^{Gr_1}$ дацито-риолитов); 5 — снегиревская свита, $D_2^{Gr_2}$ (туфы умере ино-кислого состава, туфопесчанники); 6 — дацито-риолиты субвулканического комплекса, D_3 ; 7 — пихтовская свита, D_3^{Am} (туфоконгломераты и туфы андезитов); 8 — зменногорский РМФ (гранодюриты, плагиограниты); 9 — разломы; зоны развития ГМ образований альбитофир-березитовой битофиров — Аф (10 — умеренно проявленных, Аф¹; 11 — сильно проявленных, Аф²; 12 — интенсивно проявленных, Аф³); граница альбитофир-березитовой РМФ; 16 — ГМ образования плутогенной скарн-пропилитовой РМФ; 17 — слабо изме-

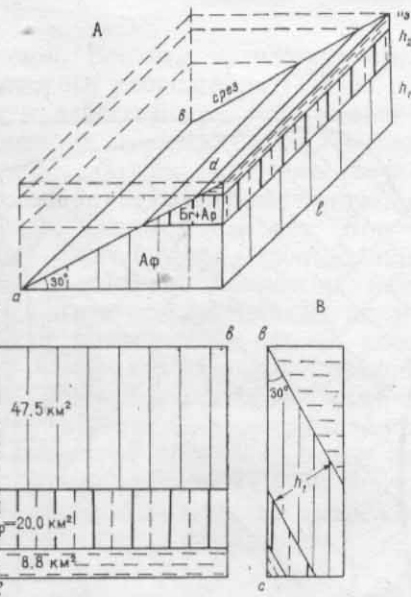


Рис. 11. Кожуховский ПРУ. Расчетная модель депрессионно-поствулканической рудоформирующей гидротермальной системы (к рис. 11).

А — общий вид, Б — поверхность современного среза, В — разрез по линии *bc*.

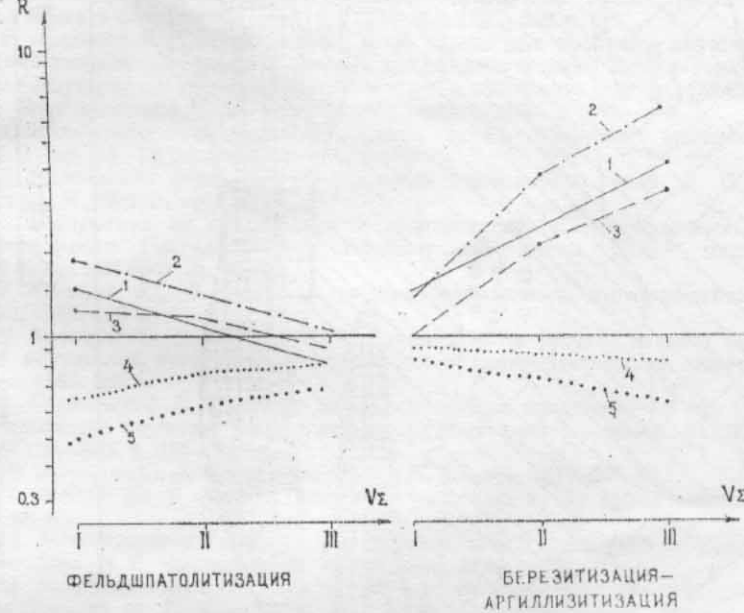


Рис. 12. Кожуховский ПРУ. Поведение элементов-примесей в сопряженных процессах депрессионно-поствулканической рудоформирующей системы.

V_{Σ} — степень замещения: I — слабая—умеренная, II — сильная, III — интенсивная—полная; R — коэффициент накопления для групп элементов: 1 — Pb; 2 — Zn, Cu, Ag; 3 — Mo, Ba, Mn, Co, Sn, V; 4 — Y, Be, Nb, Ga, Cr, Sc, Ni, Ti; 5 — Zr.

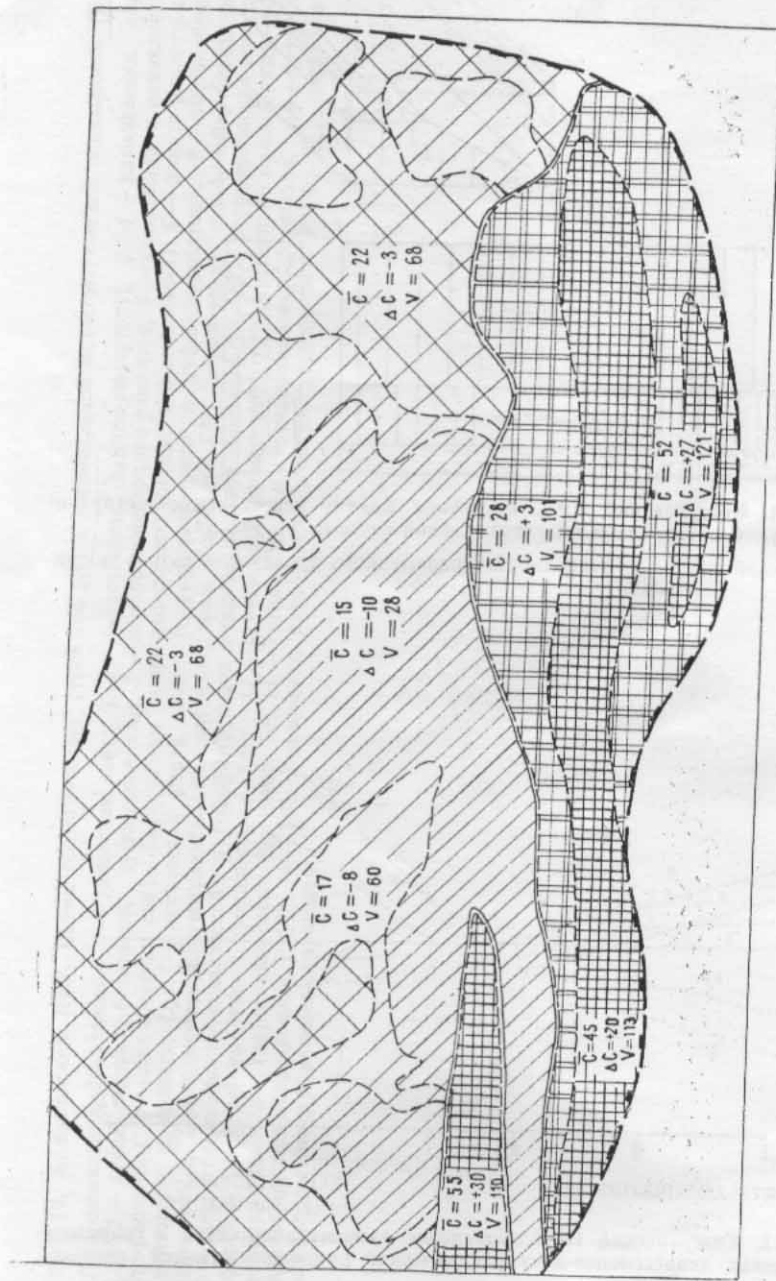


Рис. 13. Кожуховский ПРУ. Геохимическая характеристика составляющих депрессионной поствулканической рудоформирующей гидротермальной системы (на примере свинца) (к рис. 11).

\bar{C} — среднее содержание свинца в зоне ГМ-изменения (г/т), ΔC — коэффициент привноса — выноса свинца (г/т), V — коэффициент вариации (%). Значения коэффициента привноса — выноса (г/т): 1 — < 10; 2 — 10; 3 — 10; 4 — 10; 5 — 10.

района формационных типов. Все эти положения предопределяют обособанность некоторого удорожания ГСР-50.

Предлагаемый алгоритм действий предусматривает возможность широкого использования компьютерных технологий на всех стадиях обработки результатов полевого опробования, включая составление многовариантных промежуточных карт и оценку прогнозных ресурсов. Создаваемые при этом массивы и базы данных могут иметь многоцелевое использование оперативного и сравнительного характера. Возможно, наибольшее значение имеет полученный в результате данных исследований строго упорядоченный массив фактических данных, который может послужить надежной базой для проверки разнообразных рабочих гипотез, одна из которых реализована нами при подсчете прогнозных ресурсов. В этом отношении возможны варианты, подлежащие практической проверке. Более важно то, что выход на качественно новый уровень ГСР-50 без привлечения новых методов исследования, новых систем хранения и переработки информации в настоящее время немыслим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волостных Г. Т. Аргиллизация и оруденение. М., Недра, 1972. 240 с.
2. Геологическая съемка интрузивных образований. Метод. указания по геол. съемке м-ба 1 : 50 000. Вып. 3. Л., Недра, 1972. 319 с.
3. Жариков В. А., Омеляненко Б. И. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями. — В кн.: Изучение закономерностей размещения минералов при металлогеническом исследовании рудных районов. М., Недра, 1965, с. 119—194.
4. Измененные околорудные породы и их поисковое значение/Ред. Н. И. Курек. М., Госгеолтехиздат, 1954. 270 с.
5. Измененные породы и их поисковое значение/Ред. акад. Д. С. Коржинский. М., Недра, 1981. 264 с.
6. Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной геологической карты СССР масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). Л., 1986.
7. Казыцын Ю. В. Метасоматоз гидротермальных месторождений. Л., Недра, 1972. 145 с.
8. Казыцын Ю. В., Рудник В. А. Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. М., Недра, 1968. 362 с.
9. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. — В кн. Основные проблемы изучения магматогенных рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 335—367.
10. Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М., Недра, 1974. 215 с.
11. Марин Ю. Б. Метасоматические формации и их рудоносность. Л., 1989. 96 с.
12. Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании/Ред. Н. И. Наконник. М., Наука, 1966. 378 с.
13. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований/Е. В. Плющев, О. П. Ушаков, В. В. Шатов, Г. М. Беляев. Л., Недра, 1981. 262 с.
14. Омеляненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М., Недра, 1978. 215 с.

15. Плющев Е. В., Ушаков О. П. Структурно-вещественный принцип классификации метасоматитов.— Зап. ВМО, 1972, ч. 101, вып. 2, с. 190—203.
16. Плющев Е. В., Шатов В. В. Классификация рудных месторождений на геохимической основе.— Зап. ВМО, 1982, вып. 3, с. 265—276.
17. Плющев Е. В., Шатов В. В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. Л., Недра, 1985. 247 с.
18. Плющев Е. В., Шатов В. В. Оценка прогнозных ресурсов рудных узлов на основе объемного моделирования гидротермальных систем.— В кн.: Оценка прогнозных ресурсов рудоносных площадей. Л., 1987, с. 118—147 (ВСЕГЕИ).
19. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений. Метод. рекомендации/Ред. А. А. Смыслов, В. А. Рудник и др. Л., Недра, 1979. 247 с.
20. Проблемы развития советской геологии/Гл. ред. Л. И. Боровиков. Л., 1971. 335 с.
21. Смыслов А. А., Плющев Е. В. Основные принципы и методы составления радиогеохимических карт.— В кн.: Основные принципы и методы радиогеохимического картирования горных пород. Л., 1968, с. 104—135.
22. Физические и физико-химические методы анализа при геохимических исследованиях/Ред. А. А. Смыслов, В. А. Рудник. Л., 1986. 263 с.
23. Шоу Д. М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Л., Недра, 1969. 204 с.
24. Юшкин Н. П. Топоминералогия. М., Недра, 1982. 288 с.
25. Яковлев Г. Ф., Яковлев Е. Б. Флюидопорфировые комплексы подвижных зон.— В кн.: Эволюция вулканизма в истории Земли. М., 1974, с. 368—373.

Введение	4
1. Выделение, систематика и диагностика гидротермально-метасоматических (ГМ) образований	6
1.1. Объект изучения	6
1.2. Структурно-вещественная систематика гидротермально-метасоматических образований	7
1.2.1. Фоновые гидротермально-метасоматические образования	8
1.2.2. Ореольные и рудные гидротермально-метасоматические образования	14
1.2.3. Диагностика гидротермально измененных пород	15
2. Картирование гидротермально-метасоматических образований	20
2.1. Подготовительные работы	21
2.2. Полевые работы	25
2.3. Петрографические работы	28
2.4. Картосоставительские работы	31
3. Изучение геохимических особенностей гидротермально-метасоматических образований	33
3.1. Некоторые исходные положения	33
3.2. Общие требования	36
3.3. Требования к лабораторным работам	37
3.4. Использование результатов	38
4. Оценка прогнозных ресурсов потенциальных рудных полей и узлов	40
5. Примеры использования данных по геолого-геохимическому изучению ГМ образований при ГСР-50 с общими поисками	44
5.1. Комплект карт рудного района	44
5.2. Расчет прогнозных ресурсов (P ₂) рудного поля	44
Заключение	45
Список литературы	63

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ
ПРИ ГСР-50 С ОБЩИМИ ПОИСКАМИ

Редактор *Е. Е. Вагунина*
Технический редактор *А. А. Иванова*

Подписано в печать 23.06.92.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага офсетная. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,00. Усл. кр.-отт. 4,25. Уч.-изд. л. 4,39.
Тираж 850 экз. Заказ 74. Цена договорная.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ)
199026, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72

мендаций, основные положения которых авторы предлагают для предварительного обсуждения.

1. ВЫДЕЛЕНИЕ, СИСТЕМАТИКА И ДИАГНОСТИКА ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ (ГМ) ОБРАЗОВАНИЙ

1.1. Объект изучения

Наряду с магматическими, осадочными и метаморфическими породами выделяются гидротермальные породы (гидротермалиты), т. е. минеральные агрегаты, сформированные из горячих (газово-жидких, преимущественно водных) растворов различной концентрации. Гидротермалиты формируются путем свободного осаждения в пустотах (жилы выполнения и т. п.) или метасоматически замещая ранее сформированные минеральные агрегаты (метасоматиты). При самоизливе гидротерм в бассейны седиментации формируются гидротермально-осадочные породы (сульфидные ритмиты и др.), которые здесь не рассматриваются.

Кроме хорошо известных гидротермальных рудных, околорудных и безрудных жильных и метасоматических агрегатов специфического состава и массивного сложения (гидротермалитов), широким распространением пользуется рассеянная вкрапленность гидротермальной минерализации в самых разнообразных породах подвижных поясов земной коры. Это так называемые гидротермально измененные породы.

По-существу гидротермально измененные породы это полипородные образования, состоящие в общем случае из минеральных ассоциаций исходной породы и новообразованных (эпигенетических) минеральных ассоциаций (эпипороды). Введем градацию по процентному содержанию эпигенетической минеральной ассоциации: 1) 0—5% — неизменная порода; 2) 5—30% — слабо измененная порода; 3) 30—80% — сильно измененная порода; 4) 80—100% — новообразованная порода (гидротермалит).

Гидротермально измененные породы по сравнению с гидротермалитами и неизменными породами пользуются доминирующим распространением в подвижных поясах не только континентальной, но, видимо, и океанической коры. При этом преобладают так называемые слабо измененные породы. Эмпирические ориентировочные оценки показывают, что среднее содержание эпигенетической минерализации в породах складчатых областей составляет $10 \pm 5\%$. В среднем 10^8 т эпигенетического (преимущественно гидротермально-метасоматического) вещества содержится в каждом кубическом километре таких пород.

Масса гидротермального вещества, рассеянного в измененных породах, значительно (на несколько порядков) превышает общую массу рудных и безрудных гидротермалитов, которые при геологосъемочных работах масштаба 1:50 000 и мельче

являются скорее объектами поисков, чем объектами картирования, что, конечно, не исключает их фиксацию на геологических картах при обнаружении в маршруте. В то же время повсеместно распространенное гидротермальное вещество измененных пород при геологическом картировании изучается явно недостаточно, обычно бессистемно и примитивно (осветление, покраснение пород и т. п.).

Настоящие рекомендации направлены на изучение гидротермально-метасоматических образований во всей полноте их проявления применительно к ГСР-50 и обеспечивают осуществление общих поисков на гидротермальное и полигенное оборудование в объеме изучаемого района.

1.2. Структурно-вещественная систематика гидротермально-метасоматических образований

Гидротермалиты отличаются от горных пород других классов особенностями минерального состава и строения (петрографическими структурами). Эти признаки считаются конституционными, определяющими видовую принадлежность горных пород любого класса. Структурно-вещественный принцип систематики гидротермалитов является основополагающим для их изучения в полном объеме, геологического картирования и прогнозно-металлогенического использования [13, 15]. Физико-химические методы диагностики и классификации гидротермалитов рассматриваются как дополнительные, уточняющие по отношению к структурно-вещественным. Фиксируя тот или иной минеральный агрегат, мы, в лучшем случае, лишь предполагаем, какому генетическому классу горных пород он относится, но по минеральному составу и структуре можем определить его видовое название (песчаник, известняк, грейзен, аплит и т. п.), закартировать слагаемое им геологическое тело, изучить его пространственно-временные соотношения с другими геологическими телами и тем самым подойти к решению причинно-следственных проблем его генезиса. В этом и заключается фундаментальное значение структурно-вещественного подхода к систематике геологических образований с конечной целью выяснения их происхождения и условий образования [20].

Структурно-вещественные систематические параметры геологических объектов не зависят от внешней формы и размеров последних, так как базируются на минимальном объеме вещества, сохраняющего состав и структуру целого относительно главных видовых признаков [20]. Выделить такой минимальный (элементарный) объем можно как в жильном или метасоматическом теле гидротермалита, так и в эпигенетической вкрапленности гидротермальных минералов измененной породы. В обоих случаях такой минимальный объем характеризуется статисти-

чески устойчивой минеральной ассоциацией, которая сохраняет инвариант состава и структуры во всем объеме слагаемого ею гидротермального тела (зоны полного либо частичного замещения или выполнения).

Для статистически устойчивой минеральной ассоциации состав определяется видами сосуществующих и структурно связанных гидротермальных минералов; структура — количественными, пространственными и возрастными соотношениями гидротермальных минералов друг с другом, а также размерностью кристаллических индивидов.

Постоянство состава и структуры статистически устойчивой минеральной ассоциации объясняется тем, что входящие в нее минералы являются главными компонентами системы породного уровня, в отличие от примесных минеральных компонентов, набор и количественные соотношения которых могут меняться в широких пределах (при суммарном содержании менее 1—10%), а положение в структуре незакономерное [15]. Тем самым главные компоненты (их набор и структурные отношения) определяют видовые параметры системы, а примесные — индивидуальные отличия конкретного геологического тела или группы сближенных в пространстве и времени тел.

Базирующаяся на структурно-вещественных признаках видовая систематика вполне применима для гидротермально-метасоматических образований, проявляющихся как в виде массивных тел, так и в виде вкрапленности в других породах. Всю совокупность ГМ образований при этом удобно разделить на три подкласса:

а) фоновые, вкрапленность которых пользуется наиболее широким распространением, а состав определяется ординарными минералами петрогенных элементов (K, Na, Ca, Mg, Fe, Al, Si, O, H);

б) ореольные, являющиеся индикаторами околорудных (иногда и рудных) зон, в составе которых наряду с ординарными минералами породообразующее значение приобретают минералы среднекларковых элементов (S, Cl, F, Li, Sr, Ba, Cr, Mn, Zr, V, Ti, P, C, B): пирит, флюорит, барит, родохрозит, апатит, турмалин и т. п.;

в) рудные, в составе которых минералы малораспространенных (рудных) элементов (Cu, Pb, Zn, Sn, Co, Ni, Au, Ag, Bi, Hg, Sb, As, Be, Th, U, Mo, Nb, Ta, W, Pt и т. п.) имеют конституционное, т. е. породообразующее значение.

1.2.1. Фоновые гидротермально-метасоматические образования

Выделяются три группы статистически устойчивых минеральных ассоциаций: 1) кварц-светлослюдястая; 2) темноцветная, 3) полевошпатовая.

1. Кварц-светлослюдястые минеральные ассоциации (табл. 1) включают кварц, мусковит, серицит, гидросерицит, каолинит, смешаннослойные слюдисто-глинистые минералы. В подчиненных количествах в ассоциации могут входить цеолиты, хлориты, альбит, калишпат, реже амфиболы, эпидот и др. Эта группа представлена такими хорошо известными метасоматитами, как грейзены, вторичные кварциты, филлизиты, аргиллизиты, березиты. Из характерных разновидностей, получивших собственные названия, отметим джаспероиды, опалиты, листовениты, цвигтеры, слюдиты, серицитолиты и т. п. Сюда же входят соответствующие жильные образования и в первую очередь кварцевые жилы с примесью светлослюдястых минералов.

2. Темноцветные минеральные ассоциации (табл. 2) включают в качестве преобладающих эпидот, пренит, пумпеллит, хлориты, амфиболы, пироксены (исключая щелочные), биотит, гранат, кальциевые цеолиты, монтмориллонит и др. В подчиненных количествах могут присутствовать альбит, калишпат, кварц, карбонаты, светлые слюды и др. Эта группа объединяет разнообразные пропициты, скарны, биотититы, эпидозиты, уралититы, другие железо-кальций-магниевого метасоматиты и соответствующие жильные образования.

3. Полевошпатовые минеральные ассоциации (табл. 3) представлены в качестве преобладающих минералов альбитом или калишпатом с кварцем или без него, реже с альбитом и калишпатом вместе. В подчиненных количествах могут присутствовать светлые калиевые слюды, биотит, флогопит, хлориты, амфиболы (в том числе щелочные), эпирин, эпидот и др. В этой группе отмечаются разнообразные щелочные метасоматиты (альбититы, калишпатиты, реже двуполевошпатовые фельшпатиты), а также кремне-щелочные (кварц-полевошпатовые) метасоматиты, которые предлагается называть: альбитолиты, калишпатолиты или фельшпатолиты. Из числа принятых названий метасоматитов этой группы отметим эйситы, гумбеиты, альбитофиры, калишпатофиры, спилиты, апограниты и др.

Наблюдаемые реакции замещения и привнос—вынос вещества в ходе этих процессов позволяют в общем случае ГМ образования каждой из выделенных групп определить как проявления: а) кислотного (Si, Al), б) субщелочного (Fe, Ca, Mg), в) щелочного (K, Na) и кремне-щелочного (Si, K, Na) метасоматоза. Таким образом, выявляется ведущая роль фактора pH при выделении отмеченных групп, в каждой из которых устанавливаются минеральные ассоциации различных $p-t$ условий.

Термобарические условия фиксируются размерностью кристаллических индивидов и другими характеристиками структурных отношений минералов статистически устойчивой ассоциации, а также минералами-индикаторами. По этим признакам выделяются ряды ГМ образований (табл. 4).