

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова (технический  
университет)

**В. И. Алексеев**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по курсу **«СПЕЦИАЛЬНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ  
КАРТИРОВАНИЕ»**

*для студентов, обучающихся по направлению  
«Прикладная геология»,  
специальности 130301 – Геологическая съемка, поиски и разведка  
месторождений полезных ископаемых,  
130306 – Прикладная геохимия, петрология,  
минералогия*

**Санкт-Петербург  
2010**

## ВВЕДЕНИЕ

Геологическое картирование представляет собой эффективный метод научного исследования, позволяющий получать значительные объемы комплексной информации об объекте. Этот метод положен в основу геологической съемки – одного из важнейших видов геологоразведочных работ. Геологическое картирование стало для геологов мощным средством познания закономерностей строения и формирования тел земной коры и прогнозной оценки регионов на полезные ископаемые.

В начале 1980-х годов произошли качественные изменения в мировой геологической картографии. Новейшие исследования в области петрологии, геохимии, изотопной геохронологии, геофизики и развитие дистанционных методов наблюдения создали возможность изучения строения земной коры с помощью серий специальных карт эндогенных образований. Они были призваны, дополняя металлогенические карты, способствовать расшифровке состава, строения и взаимоотношений геологических тел и расширению минерально-сырьевых запасов. Особенно возросла роль петрологического обеспечения геологического картирования в связи с широкой площадной распространенностью магматических, метаморфических и метасоматических образований и приуроченностью к ним значительного числа месторождений полезных ископаемых. Современная геологосъемочная практика немыслима без детального изучения вещественного состава геологических тел, научно обоснованной диагностики кристаллических горных пород и их ассоциаций, методологически выверенного выделения региональных петрографических подразделений.

В условиях перехода экономики России к рыночным отношениям отечественная геологическая служба претерпевает серьезные изменения. В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 16.07.2008 № 151 « Об утверждении Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья» геологическое картирование должно служить источником информации для решения крупных федеральных и региональных проблем развития минерально-сырьевой базы, снижения уровня безопасного использования геологической среды, проведения мероприятий по мониторингу её состояния и охраны и других аспектов хозяйственной деятельности и регулирования пользования недрами. Приоритетная роль в исследовании территорий отводится крупномасштабной геологической съемке в районах действующих горнодобывающих предприятий. Введена в действие новая инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Госгеолкарты масштаба 1:50 000 (1:25 000) [3].

Проведение геологосъемочных работ в рудных районах имеет ряд существенных особенностей. Большинство рудопроявлений пространственно сопряжено и нередко генетически связано с интрузивными и гидротермальными образованиями. Картирование этих образований представляет собой особо сложный вид геологических исследований. Объекты наблюдений весьма разнообразны и сложны по составу и строению, характеризуются существенной изменчивостью в пространстве и специфическими взаимоотношениями с осадочными и вулканогенно-осадочными телами.

Под *специальным геологическим картированием* мы будем понимать картирование районов развития интрузивных и гидротермально-метасоматических образований, сопровождающее геологическую съемку масштабов 1 : 200 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 или иные региональные геологические исследования [1, 5, 6, 11, 16, 18]. Именно такие районы вследствие генетической связи оруденения с интрузиями и метасоматитами перспективны на поиски месторождений полезных ископаемых. Специальное геологическое картирование является одной из основ развития современной атласной картографии и ГИС-технологий, направленных на комплексный анализ геологических объектов и оценку минерагенических перспектив территорий.

*Целью курса* «Специальное геологическое картирование» является обучение студента современным методам петрографического, минералогического и геохимического картирования.

*Задачи учебной дисциплины:* овладение теоретическими основами и принципами специального геокартирования; освоение современных методов картирования интрузивных и гидротермально-метасоматических образований; развитие навыков применения специального геокартирования при решении профессиональных задач в условиях районов сложного геологического строения.

При картировании интрузивных массивов и гидротермальных тел от геолога требуются определенные теоретические знания и способность решать целый ряд особых методических вопросов как в полевых условиях, так и на этапе обработки данных. В соответствии с этим курс разделен на два больших раздела, посвященных интрузивным и гидротермально-метасоматическим образованиям. В каждом разделе последовательно разбираются теоретические основы и принципы расчленения соответствующих геологических тел, особенности их полевого и камерального изучения и интерпретации полученных результатов. При этом главное внимание уделяется геохимическим, минералогическим и петрологическим аспектам картирования.

# ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Повышенная детальность изучения территорий при проведении крупномасштабной геологической съемки или поисково-тематических работ вызывает необходимость углубленно решать вопросы внутреннего строения и состава интрузивных образований. Долгое время, в период мелкомасштабных исследований, эти вопросы оставались за рамками интересов геологов-съемщиков и изучались отдельными группами узких специалистов. В широких слоях геологов бытовало мнение об относительно простом внутреннем строении интрузий. Пережитком того периода является, в частности, представление о безкорневом характере доорогенных гранитных батолитов. Однако накопленный к настоящему времени опыт изучения интрузий свидетельствует о значительной сложности их строения, многофазном, зачастую полиформационном их характере и неоднозначных генетических связях с оруденением.

В процессе картирования интрузивных образований объектами изучения являются вмещающие толщи, поверхности контактов интрузивных тел и собственно интрузивные тела. Если с картированием объектов первых двух типов методических сложностей обычно не возникает, то изучение самих интрузий требует соблюдения определенных принципов и способов их классификации, расчленения и наименования. При этом главными объектами картирования являются интрузивные фазы и интрузивные фации.

### Интрузивная фаза

Интрузивные тела лишь в редких случаях бывают сложены какой-либо одной горной породой, неизменной по составу и структуре в пределах всего тела. Чаще в строении плутона или малой интрузии принимают участие породы различного состава и строения, которые граничат друг с другом по резким контактовым поверхностям или постепенно переходят друг в друга. Процесс формирования интрузивного тела носит, как правило, пульсирующий характер. Последовательное внедрение нескольких порций магматического расплава и их застывание приводит к образованию пространственно сопряженных тел более или менее близкого состава, называемых фазами.

*Интрузивная фаза* – это внутренне однородное тело (или их совокупность), сложенное однотипными или близкими породами устойчивого (или плавно меняющегося) состава и структурно-текстурного облика и отделенное от других фазовых тел поверхностями раздела (границами), фиксируемыми при полевом визуальном изучении.

Таким образом, интрузивная фаза – это, во-первых, внутренне однородное с точки зрения петрологии тело и, во-вторых, фаза имеет внешние границы, фиксируемые по резким, скачкообразным изменениям состава и (или) структуры. При этом следует иметь в виду, что интрузивная фаза может быть представлена как одним телом, так и группой тел вследствие внедрения магматического расплава в один или несколько активных центров.

Термин «фаза» может применяться и во временном (хронологическом) смысле. В этом случае под «фазой» понимается наименьший по длительности импульс интрузивной деятельности – обособленный во времени акт кристаллизации порции расплава строго определенного состава.

Итак, в каждом данном интрузивном массиве, или в группе сближенных массивов сходного состава чаще всего удается выявить семейства тел, соответствующих одновременному внедрению расплава в интрузивные камеры в данном районе. Однако, нужно заметить, что доказать геологическими методами их строгую синхронность невозможно. Единственной реальной основой для этого служат состав и структурно-текстурные особенности изучаемых горных пород, а также взаимоотношения фазы с другими геологическими телами.

В настоящее время на примере хорошо изученных интрузивных массивов лейкогранит-аляскитового и щелочно-гранитового формационных типов доказано, что породы разных фаз не только имеют стабильные состав и структуру, но и отличаются устойчивым (эталонным) обликом. Термины «главная фаза», «дополнительная фаза», «жильная фаза» отнюдь не являются терминами свободного пользования, но представляют собой совершенно конкретные понятия. Наиболее ранние граниты главной фазы слагают в пределах массива одно крупное тело и представлены крупнозернистыми разновидностями. Граниты одной-трех последующих дополнительных фаз обычно среднезернистые и мелко-среднезернистые, часто порфировидные. Они располагаются в апикали массива, слагают малые интрузии (силлы, дайки, штоки) и тождественны по составу гранитам главной фазы. Поздние граниты жильной фазы мелкозернистые, аплитовидные или резко порфировидные. Они слагают дайки и жилы в апикальной и экзоконтактной областях и отличаются повышенной кремнекислотностью.

### **Интрузивная фация**

Внутри резко разграниченных фазовых тел часто наблюдаются постепенные изменения структуры или состава интрузивных пород. Точечная граница, проведенная на геологической карте в пределах интрузивного массива означает наличие именно таких изменений и именуется обычно «границей фациальных подразделений одного и того же возраста». Естественно, расположение такой границы на карте достаточно условно, поскольку речь идет

в таком случае о постепенном переводе одной петрографической разности в другую.

*Интрузивные фации* – это разновидности пород (или слагаемые или участки) внутри единого фазового тела, незначительно различающиеся между собой структурно и (или) по составу и связанные постепенными переходами на значительных расстояниях, соизмеримых с величиной самих тел и участков.

Отметим, что в петрологии существует и более широкое понятие «интрузивной фации» как совокупности пород, сформированных в сходных термодинамических и тектонических условиях и, как следствие, имеющих общие особенности состава, структуры и геологической позиции. В этом смысле выделяют, например, так называемые фации глубинности: «интрузивная (абиссальная) фация», «эффузивная (вулканическая) фация» и т.п.

Исторически в магматической петрологии закрепилось также деление интрузий на фации ядра, эндоконтакта, сателлитов и жильную. Первые три вида фаций, действительно, часто выделяются при картировании интрузий и соответствует приведенному выше определению. Жильная же фация, как правило, образуется при внедрении во вмещающие толщи остаточного расплава, представляя собой интрузивную фазу внедрения.

Особенно характерно наличие в интрузиях эндоконтактовой фации, прилегающей к толщам вмещающих пород. Мощность ее сильно различается в разных массивах и зависит от объема последних, температуры и химической активности магмы, глубины и скорости ее кристаллизации и других факторов. Породы эндоконтактовой фации отличаются, как правило, особенностями структуры, – пониженным размером зерен породообразующих минералов, порфирированностью. Однако, в ряде случаев, фиксируются также существенные изменения состава эндоконтактовых пород: повышение количества фемических компонентов, появление таких необычных для интрузивных пород минералов, как силлиманит, андалузит, кордиерит, гранат, корунд, а также целых блоков частично переработанных вмещающих пород, – ксенолитов.

Фации внутренних частей интрузий, обязанные своим происхождением, например, глубинной ассимиляции, не подчиняются в своем распределении поверхности контакта с вмещающими толщами. Их выделение проводится по изменениям в составе пород: изменения цветового индекса, появление в составе акцессорного комплекса метаморфических минералов или повышенных количеств титанита и апатита. Хорошими полевыми признаками фациальных изменений пород являются шлировые текстуры и ксенолиты.

## **Интрузивные контакты**

Ключевым вопросом картирования интрузивных фаз и фаций является выделение и прослеживание контактов между интрузивными породами. Значительные расхождения взглядов различных исследователей на фациально-

фазовое расчленение конкретных массивов вызваны недостаточной изученностью проблемы интрузивных контактов. Так, среди геологов-съемщиков широко распространено представление о том, что интрузивный контакт должен обязательно иметь четко секущий характер, сопровождаться зоной закаливания, апофизами и ксенолитами вмещающих пород. Действительно, именно так выглядят обычно контакты интрузий с вмещающими толщами, фиксируя резкий перепад температур на границе соприкасающихся тел в момент кристаллизации расплава. Однако, на границе интрузивных фаз, сближенных по времени образования, температурный градиент относительно мал, а возможности развития контактово-реакционных явлений и частичного плавления пород ранней фазы, наоборот, весьма велики. Вследствие этого гораздо более закономерными для внутреннего строения полифазных массивов являются нерезкие, так называемые «скрытые» или «термостатированные» контакты.

Скрытые интрузивные контакты распространены в природе шире, чем секущие, но выявляются значительно труднее, чем последние. Нередки случаи, когда такие нерезкие, «размазанные» контакты между фазами интерпретируются как фациальные переходы. Так, двухфазные силлы в составе тела главной фазы одного из крупнейших гранитных интрузивов Северо-Востока – Северного массива, долгое время оценивались вследствие нерезкости лежащих контактов как части единой «расслоенной» интрузии, то есть как интрузивные фации. Следует отчетливо различать понятие «нерезкий контакт» и «постепенный переход», относящиеся соответственно к маломощной зоне на контакте интрузивных фаз и к мощным блокам и обширным площадям массива, сопоставимым по размерам с фазовыми телами.

*Интрузивный контакт* – это любое скачкообразное изменение состава и (или) структуры горных пород, происходящее в маломощной зоне, несоизмеримо малой, по сравнению с размерами граничащих тел.

Мощность межфазовых контактовых зон не превышает обычно первых сантиметров. Эти зоны можно продемонстрировать одним штуфом. В отличие от них фациальные переходы происходят на расстояниях, сопоставимых с размерами фаз и могут быть продемонстрированы только коллекцией штуфов из разных частей фации.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ КАРТИРОВАНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Весь процесс картирования интрузивных тел разбивается на три периода: предполевой, полевой и камеральный.

### **Предполевой период**

Основная цель предполевого периода – сбор и анализ результатов предшествующих исследований. Крупномасштабное картирование

производится в районах, где уже осуществлены геологическая съемка масштаба 1:200 000 и определенные тематические исследования. Поэтому еще до начала проведения полевых работ необходимо обобщить имеющиеся данные о составе и строении интрузивных и вмещающих пород, истории магматизма и постмагматических процессов в районе. Разрабатывается предварительная модель выделения интрузивных комплексов, выявляются основные спорные вопросы и намечаются геологические пункты, в которых эти вопросы могут быть разрешены. В этот же период составляется крупномасштабный макет карты полезных ископаемых, разрабатываются критерии и тактика поисков месторождений.

Наряду с использованием существующих данных в предполевой период собираются и новые факты о территории. Такие работы ведутся в двух направлениях:

1. Дешифрирование аэрофотоматериалов.
2. Геофизические работы.

### **Дешифрирование аэрофотоматериалов**

Весьма ценная информация о положении, границах, внутреннем строении и даже составе интрузий может быть получена путем дешифрирования аэрофотоматериалов. При этом признаками интрузивных тел являются: 1) однородность фототока; 2) выраженность в рельефе; 3) дендритообразный рисунок гидросети; 4) отсутствие слоистости; 5) трещины отдельности. Границы массивов фиксируются по изменению рельефа – появлению кольцевых долин на контакте с вмещающими толщами и окаймляющих гряд в зоне ороговикования. Наличие в массиве фаз и фаций может отражаться в пятнистом или кольцевом распределении участков различной тональности, микрорельефа и трещиноватости; дайки зачастую выражены в виде системы небольших гряд. Состав массива или его фаз устанавливается по фототону, местным геоморфологическим и геоботаническим признакам.

По результатам исследований составляется схема геологического дешифрирования или, по возможности, фотогеологическая карта. На них должны быть отражены границы пород, слагающих массив и экзоконтактовый ореол, основные тектонические нарушения и трещины отдельности, а также зоны метасоматических изменений.

### **Геофизические работы**

Как правило, крупномасштабному картированию предшествуют геофизические исследования – аэромагнитная и аэро-гамма съемка масштаба 1:25 000 – 1:50 000 и гравиметрическая съемка масштаба 1:200 000. Эти работы выполняются специализированными экспедициями и партиями и завершаются построением карт соответствующих физических полей. Одновременно



проводятся петрофизические исследования: выделяются петрофизические группы пород, составляются петрофизические карты района в масштабе проводимой геологической съемки. При этом используются материалы ранее проведенных тематических исследований и определения по образцам из имеющихся коллекций.

Наиболее важны в практическом отношении такие свойства интрузивных пород как плотность, магнитная восприимчивость и естественная радиоактивность. Помимо указанных параметров в интрузивных породах часто изучают скорость упругих волн, вызванную поляризацию и удельное сопротивление. Для части образцов определяются пористость, удельный вес и естественная остаточная намагниченность. Все определения сопровождаются микропетрографической диагностикой пород по шлифам.

Материалы геофизических съемок и петрографических исследований подвергаются предположительной геологической интерпретации. При этом решаются две главные задачи: 1) выделение и оконтуривание интрузивных массивов; 2) изучение внутреннего строения массивов. Предположения о наличии и положении в районе интрузий основываются на изменениях напряженности или характера физических полей, отражающих различие свойств магматических, вмещающих и ороговикованных пород. Наиболее четко выделяются массивы, залегающие в контрастных вмещающих толщах осадочных и некоторых метаморфических пород. Выявление интрузий в вулканогенных толщах близкого с ними состава представляет собой задачу повышенной сложности. Эффективность геофизического оконтуривания массивов зависит от характера и залегания контактовой поверхности и интенсивности эндо-экзоконтактовых изменений пород.

Изучение внутреннего строения массива возможно в тех случаях, когда в нем выделяются тела и участки, сложенные различными по физическим свойствам породами. Ведущими геофизическими методами при этом являются магниторазведка и радиометрия масштаба 1:25 000. Важнейшей задачей при этом является оконтуривание фазовых тел и выявление в них фациальных переходов. Иногда удается частично решить вопрос о составе фаз и фаций, а также о форме и залегании соответствующих тел.

Результаты интерпретации геофизических материалов вкуче с данными геологического дешифрирования сводятся на единой предварительной геологической карте. Это позволяет выявить все проблемы исследования намеченной территории, правильно спроектировать очередность и методику ее картирования.

### **Полевой период**

Никакие самые точные лабораторные и математические методы получения информации не способны заменить полевое визуальное изучение горных пород и слагаемых ими тел. Независимость камеральных работ от

полевых является мнимой, так как исходный материал для них собирается на реальных геологических объектах.

В процессе картирования районов развития интрузивных образований изучаются размеры, форма и условия залегания массивов, их внутреннее строение, состав, взаимоотношение с другими геологическими темами возрастает и рудоносность. При этом составляется полевая геологическая карта масштаба 1:50 000 или 1:25 000, собираются материалы для камеральных исследований.

Рекомендуется следующая последовательность выполнения геологической съемки.

1. Составление на наиболее обнаженных участках опорных разрезов с предварительным выделением фаз, фаций и других важных элементов внутреннего строения интрузивов. Эта работа позволяет ознакомиться с особенностями интрузивных пород, взаимоотношениями слагаемых или тел и наметить рациональную методику картирования массива. Составление разрезов сопровождается детальным отбором эталонных образцов и проб для петрографических, минералогических и геохимических исследований.

2. Систематическое геологическое картирование обнаженных площадей и проведение горных и буровых работ на участках, перекрытых антропогенными отложениями. Обязательно прослеживаются по простиранию границы фаз, разрывные нарушения, зоны минерализации и оруденения, намечаются условные границы интрузивных фаций.

3. Углубленное картирование участков рудопроявлений, а также элементов строения массива, перспективных на обнаружение оруденения (зон контактовых и гидротермальных изменений, разрывных нарушений).

При картировании интрузивов особое значение имеют следующие объекты:

1) контактовые толщи интрузивных массивов; 2) вмещающие толщи; 3) контактовые ореолы; 4) форма интрузивных тел; 5) внутреннее строение массива; 6) элементы прототектоники; 7) постинтрузивные дайки; 8) тектонические деформации; 9) гидротермальные образования. Большое внимание уделяется также опробованию горных пород.

### **Изучение контактов интрузивных массивов**

Исследование контактов интрузивных массивов имеет важное значение при определении их морфологии, возраста и условий образования. Контактная поверхность часто контролирует размещение оруденения скарнового, грейзенового и других типов, выявление которого является одной из задач картирования. Изучение контактов заключается в прослеживании границ массивов, определении условий залегания контактовых поверхностей и взаимоотношений массива с вмещающими толщами.

Границы массива прослеживаются геологическими маршрутами вкрест и по простиранию с учетом данных дешифрирования аэрофотоматериалов. При плохой обнаженности зона контакта вскрывается горными буровыми выработками и буровыми скважинами, которые задаются на основе данных дешифрирования, геофизических исследований и с учетом геоморфологических признаков. В районах с широким развитием элювиально-делювиальных отложений контакты могут прослеживаться по составу обломков: либо короткими геофизическими профилями вкрест простирания через 200-500 м.

Залегание контактовых поверхностей-интрузий изучается в горных выработках: скважинах, а также на поверхности, методами горной геометрии. Косвенно о падении контактов можно судить по ширине зон экзоконтактовых изменений, залеганию элементов протектоники, а также по геофизическим данным.

По характеру взаимоотношений массива с вмещающими толщами различают активные, трансгрессивные и тектонические контакты. Для активных (интрузивных) контактов характерны пересечения структурных элементов вмещающих пород, развитие в последних апофиз интрузии и контактово-метаморфических изменений, наличие в эндоконтактовой зоне ксенолитов боковых пород, приконтактовое закаливание внедренных магматитов. Трансгрессивные («холодные») контакты фиксируются по налеганию на размытую поверхность интрузива более молодых тел: отсутствию в основании последних следов контактового метаморфизма и развитию базальных горизонтов, обогащенных обломками интрузивных пород.

Тектонические контакты имеют в плане прямолинейности или ломаный характер, как правило, сопровождаются расщеплением, милонитизацией, нарушением текстур контактирующих пород, а также их динамической перекристаллизацией и метасоматическими изменениями. Многие из этих признаков могут отсутствовать даже при значительных смещениях по разломам, если в контакт приведены пластичные породы (вмещающие известняки, внедренные серпентинизированные ультрамафиты).

### **Изучение вмещающих толщ**

Геологическое картирование вмещающих интрузивные массивы осадочных, вулканических и метаморфических образований проводится в соответствии с общепринятыми принципами и методами. Наиболее важными задачами для определения условий формирования и рудоносности интрузивов являются изучение стратиграфии, состава и структур вмещающих толщ, а также ксенолитов.

Стратиграфические наблюдения кладутся в основу определения возраста интрузивных тел. Нижняя и верхняя границы возраста фиксируются соответственно активными интрузивными и пассивными трансгрессивными контактами массивов со стратифицированными образованиями. Косвенные

данные о возрасте могут быть получены при изучении стратиграфических и угловых несогласий вмещающих толщ, а также акцессорного комплекса терригенных отложений. Так, о верхней возрастной границе ряда редкометальных гранитных интрузий можно судить по появлению в окружающих их обломочных породах топаза и колумбита-танталита.

Изучение вещественного состава вмещающих толщ вдали от массивов позволяет выделить «петрографический фон», на котором развивались процессы ассимиляции и метаморфизма при внедрении интрузий. В свою очередь, учет особенностей ассимиляции имеет решающее значение при установлении первичного состава магмы в случае ее внедрения в контрастные по составу породы. Состав вмещающих толщ нередко влияет также на состав и особенности локализации постмагматических, в том числе и рудных образований. В одних случаях боковые породы служат источником петрогенных и рудогенных компонентов гидротермальных растворов, в других – эффективным физико-химическим осадителем рудных элементов или экраном для проникновения гидротерм. Стратиграфические подразделения, благоприятные для локализации гидротермальных образований картируются с особой тщательностью.

Структуры вмещающих толщ оказывают значительное влияние на размещение и морфологию интрузивных тел. К ядрам антиклиналей первого порядка часто приурочены согласные гранитные батолиты, а силлы, лакколлиты и другие малые согласные интрузии залегают в слабо дислоцированных толщах неполной складчатости. Определяющую роль в размещении интрузивов принадлежит зонам глубинных разломов. Известна, например, приуроченность массивов танталоносных лейкогранитов к линейным и дуговым зонам повышенной проницаемости длиной до нескольких километров, фиксируемым дайковым поясам. Наиболее детально обычно изучаются пликативные и разрывные структуры вмещающих пород в непосредственной близости от массива. Это позволяет установить место последнего в истории тектонического развития района, получить информацию о способе внедрения магмы и форме массива на глубине.

### **Изучение контактовых ореолов интрузивных тел**

Контактные ореолы интрузий являются при крупномасштабном геологическом картировании объектами повышенного внимания, так как именно в их пределах наиболее часто локализуются проявления полезных ископаемых. Изучение контактовых ореолов важно также с позиций определения времени и условий формирования плутонов, их формы и положения границ.

Мощность зон контактовых изменений возле разных массивов сильно различается, так как зависит от множества факторов; состава, объемов и температуры магматического расплава, содержание в нем летучих

компонентов, формы и глубины становления интрузии, состава и структуры вмещающих толщ. Наиболее мощные контактовые ореолы (до 1 км и более) возникают вокруг гранитоидных и щелочных интрузий, богатых водой и другими летучими компонентами. Для гипербазитов характерно крайне незначительное воздействие на вмещающие породы в зонах мощностью в первые сантиметры. Ширина контактовых ореолов в интрузивах сходного состава прямо пропорциональна размерам последних. Наиболее широкому изменению подвергаются низкотемпературные осадочные горные породы – глинистые сланцы, известняки, песчаники и алевролиты. Воздействие интрузий на кристаллические, магматические и метаморфические породы проявлено обычно значительно слабее. Мощность зон контактового воздействия возрастает в слоистых и трещиноватых толщах, а также при увеличении глубины формирования плутона. Ширина ореолов в плане увеличивается при пологом падении контактов интрузива под вмещающие породы.

В процессе контактово-термального метаморфизма возникают метапелитовые и metabазитовые роговики, мраморы, а также более редкие кварциты, ультрамафические и железистые роговики. При этом вмещающие породы нередко полностью меняют свой состав и внешний облик, а иногда даже частично плавятся с образованием стекла. Одной из задач картирования контактовых ореолов является реконструкция исходного состава пород рамы. Для ее решения прибегают к прослеживанию изменений состава и структур пород вкрест простирания ореолов, выявлению в роговиках реликтовых минералов и структур, корреляции пород, измененных в различной степени, по химическому составу.

Важной задачей является выявление зональности контактово-метаморфических ореолов. На практике часто используют удобную для полевых наблюдений трехзонную схему Г. Розенбума: пятнистые сланцы – узловатые сланцы – роговики. Более универсален метод выделения метаморфических фаций по Ф. Тернеру (1951): альбит-эпидот роговиковый, роговообманково-роговиковой, пироксен-роговиковой и санидинитовой. Площади развития фаций, выделяемых по характерным устойчивым парагенезисам минералов, выносятся на геологическую карту. Принципиально важным при этом является разделение картирования собственно метаморфических образований и продуктов постмагматической гидротермальной деятельности, которые могут быть связаны генетически с оруденением.

Картирование контактовых ореолов начинается, как правило, с наблюдений на опорных разрезах вкрест простирания контактов интрузива. Затем производится оконтуривание зоны ороговикования, фациальных подзон и метасоматических тел по густой сети маршрутов преимущественно вкрест простирания границ. При хорошей обнаженности или широком развитии элювиально-делювиальных отложений доля маршрутов по простиранию фациальных зон увеличивается.

## Изучение формы интрузивных тел

Специальное геокартирование отличается от среднемасштабной геологической съемки интрузивных тел прогнозированием строения и формы последних на глубину. Объемное изучение плутонов позволяет заложить научные основы определения их места в геологической истории районов и металлогенического прогноза.

При полевых исследованиях наиболее удобно разделить интрузивов по форме на согласные, не нарушающие структуры вмещающих толщ (силлы, лополиты, лакколлиты, факоллиты, межформационные залежи) и несогласные, секущие структуры рамы (батолиты, штоки, дайки, этмолиты, трубки взрыва).

Форма интрузивных тел зависит от механической активности и глубины кристаллизации магматического расплава, а также от геологической обстановки – структуры и состава вмещающих толщ и характера тектонических движений. При выявлении формы плутонов учитываются прежде всего их площадь выхода на дневную поверхность и взаимоотношения с вмещающими породами. Например, массивы изометрической формы окружены толщами, падающими под интрузив, легко интерпретируются как лополиты, а несогласные массивы округлых и неправильных очертаний являются штоками или батолитами. При реконструкции формы плутона необходимо учитывать возможность его значительного увеличения на глубине и соединение с другими плутонами, выходящими на дневную поверхность. Как правило, это фиксируется общим для группы интрузивов полем контактово-метаморфических изменений, а также общей геофизической аномалией.

Существенную помощь в реконструкции формы интрузивных тел оказывают наблюдения за такими элементами прототектоники как первичная полосчатость, трахитоидность, линии течения. Так, выявленные в гипербазитовых телах брахисинклинальной прототектонической структуры свидетельствует об их принадлежности к лополитам, а наклон полосчатости и трахитоидности внутрь щелочных массивов центрального типа сигнализирует о коническом характере слагающих их фаз.

Неотъемлемой частью рассматриваемой задачи является реконструкция морфологии апикальной части массива. Исходными данными для такой реконструкции служат, как правило, данные об ориентировке пластовых трещин отдельности, текстур течения и гибридных шлиров. Редкими, но важными реперами при анализе апикалей массивов являются реликты кровли, обычно интенсивно ороговикованные. Для апикальных выступов гранитоидных интрузивов характерно развитие миароловых пустот, пегматоидных образований, залежей грейзенов и апогранитов.

## Изучение внутреннего строения интрузивных массивов

Изучение внутреннего строения интрузивов может быть разделено на следующие относительно самостоятельные виды работ: 1) изучение состава горных пород; 2) выделение интрузивных фаз и фаций и установление их характерных особенностей; 3) определение последовательности образования фаз; 4) изучение прототектоники; 5) изучение жильных образований; 6) изучение постмагматических образований.

Изучение состава интрузивных пород в полевых условиях проводится с использованием простейших увеличительных приборов и с учетом имеющихся фондовых петрографических описаний. Основой диагностики горных пород является их физиографический облик – совокупность внешних отличительных признаков. Очень редко встречаются интрузивные массивы, однородные в петрографическом отношении.

Выделение интрузивных фаз производится в соответствии с принципами, описанными в первой главе данного пособия. Количество фаз может достигать трех – пяти и более. Независимо от контрастности фаз, необходимо не только выделить, но и оконтурить тела различной фазовой принадлежности, определить последовательность их формирования.

К сожалению, дать исчерпывающие практические рекомендации по интерпретации контактов между интрузивами в настоящее время не представляется возможным. Современная петрология только еще приближается к решению этой проблемы. Приходится ограничиваться простейшей классификацией контактов, построенной на признаках визуальной резкости, приконтактовых изменений и морфологии контактовых поверхностей. Различаются следующие виды контактов: 1) резкие, так называемые «интрузивные» контакты, сопровождаемые зонами закалки – зонами осветления и уменьшения размера зерен со стороны более поздних образований; 2) отчетливые, достаточно резкие, но без зон закалывания двух подвидов: а) с явными признаками приконтактовых изменений и б) без них; 3) нерезкие, смазанные или «термостатированные». Наличие контактов первого вида служит довольно надежным признаком асинхронности соприкасающихся тел и их принадлежности к разновозрастным интрузивным комплексам.

Контакты второго вида наиболее распространены, но менее информативны: они встречаются на границе фазовых тел как одного, так и разных комплексов, в особенности сближенных во времени и принадлежащих к одной интрузивной серии. Интерпретация приконтактовых изменений интрузивных пород также достаточно затруднительна, но чаще они наблюдаются на границах фазовых тел разных комплексов.

Наличие нерезких контактов третьего вида свидетельствует о сближенности интрузивных фаз во времени и их формировании в условиях термостатированной системы при незначительном перепаде температур между затвердевшим телом и остаточным расплавом. Следовательно, контакты

третьего вида являются признаком принадлежности фаз к единому интрузивному комплексу. Отметим также, что контакты разных видов могут сменять друг друга по простиранию или сочетаться в пределах единого фазового тела.

Морфология контактовых поверхностей между интрузивными телами весьма разнообразна. Наиболее информативными в отношении относительного возврата интрузий являются механически активные контакты, характеризующиеся сочетанием апофиз и ксенолитов внедренных тел в ранее возникших телах. Интерпретация сложнопостроенных контактов, затушеванных метасоматическими явлениями, а также простых прямолинейных контактов обычно не является однозначной.

Вопрос о возрастном соотношении соприкасающихся пород частично может решаться посредством изучения приконтактных изменений их структуры. В более ранних горных породах наблюдается срезание контактовой поверхностью трахитоидности, гнейсовидности, а также шлиров и крупных порфировидных выделений. Структуры и текстуры поздних интрузивных пород, напротив, являются конформными по отношению к контакту.

После нанесения на геологическую карту контуров интрузивного массива внутри него прослеживают по простиранию и наносят на карту границы между фазами. При этом существенную помощь оказывают данные дешифрирования аэрофотоснимков, интерпретации геофизических материалов, документации горных выработок – канав, шурфов, расчисток. Таким образом, плутон разделяется на поля распространения пород отдельных фаз, именуемых по главному петрографическому виду. После определения возрастных соотношений фаз им придают названия по порядку внедрения (первая, вторая и т.д.) и по относительному объему (главная, дополнительная, жильная).

Затем определяется форма фазовых тел с помощью геологических методов, описанных выше, а также с использованием данных аэрогеофизических и наземных геофизических съемок масштаба 1:50 000 и 1:25 000.

При картировании петрографически неоднородных интрузивных фаз в их пределах выделяются интрузивные фации. Наиболее часто приходится иметь дело с фациями ядра, эндоконтакта и сателлитов, описанными в предыдущих разделах. Изменчивость состава и структуры пород внутри выделенных фаз может носить достаточно сложный характер, отражая процессы ассимиляции и дифференциации расплава. Однако, все существенные петрографические изменения фаз должны быть выявлены, и на карту должны быть нанесены границы между интрузивными фациями.

### **Изучение элементов прототектоники**

При изучении внутреннего строения интрузивного массива следует в обязательном порядке выявлять и картировать элементы прототектоники. Это



помогает в решении вопросов реконструкции кровли, определения положения подводящего канала, морфологии интрузивных тел и их взаимоотношений с вмещающими толщами. Данные о прототектонике служат основой оценки механизма и направления внедрения магмы, а также тектонических условий становления магматических тел.

Наиболее ярко прототектоника проявляется в ультраосновных, основных и щелочных массивах. Широко известны такие расслоенные плутоны как Бушвельдский, Хибинский и другие. В таких интрузиях элементы прототектоники представлены как первичной полосчатостью, так и ориентированным расположением минеральных зерен и шлиров. Менее отчетливо выражены директивные текстуры в кислых интрузиях, где при детальном исследовании фиксируется ориентировка биотитовых шлиров, ксенолитов и порфиroidных выделений щелочных полевых шпатов.

С директивными текстурами тесно связаны первичные трещины отдельности. Вертикальные и крутопадающие трещины изучаются с привлечением аэрофотоматериалов, а пологие картируются непосредственно в поле. В сочетании с первичными текстурами течения трещины отдельности фиксируют пространственное положение тела и направление внедрения расплава, а данные о пластовой отдельности помогают восстановить рельеф кровли интрузива. Восстанавливая по элементам прототектоники пространственное положение контактовой поверхности плутона, можно вычислить примерное положение его кровли на эродированных участках.

Прототектоника изучается обычно в пределах всех интрузивных фаз. Если элементы прототектоники выражены отчетливо и легко картируются, то составляется структурная карта плутона в виде накладки на геологическую карту. На такой накладке помимо основных геологических границ показываются элементы залегания текстур течения и трещин отдельности, розы диаграммы и стереограммы трещиноватости.

### **Изучение постинтрузивных даек**

Наряду с дайками жильной фазы, а также дайками-апофизами жильной фации в плутонах нередко широко развиты постинтрузивные дайки, образованные в более поздние этапы магматической деятельности. Среди них встречаются самостоятельные интрузивные тела, но преобладают субвулканические дайки, играющие важную металлогеническую роль. По уменьшению частоты встречаемости даек различного состава их можно расположить в ряд: диабаз-и диорит-порфириновые – дацит-и риолит-порфириновые – сиенит-порфириновые – лампрофириновые. Породы даек сходны по составу с комагматическими эффузивами, но лучше раскристаллизованы и характеризуются восстающей флюиальностью. В отличие от даек жильной фазы субвулканические дайки имеют резкие контакты с зонами закалывания, крутое залегание, часто повышенную до 150-200 м мощность и могут

располагаться как в интрузивном массиве, так и за его пределами. В нижних структурных этажах такие дайки теряют связь с эродированными вулканическими покровами.

В процессе картирования дайки необходимо разделить на петрографические группы: кислого, среднего, основного состава. Отдельно показываются щелочные и лампрофировые дайки. Для даек каждой группы и разновидности устанавливаются средние элементы залегания, мощность и общие особенности строения и взаимоотношения с вмещающими телами. Нередко они образуют так называемые «дайковые пояса» протяженностью в десятки километров и «дайковые рои», будучи приуроченными к зонам региональных глубинных разломов и к участкам их пересечения. Все выявленные закономерности фиксируются на карте, специальных детальном схемах и розах-диаграммах. На закрытых площадях используются данные дешифрирования аэрофотоматериалов.

Одной из задач картирования дайковых образований является их возрастное расчленение. В соответствии с данными о взаимоотношениях даек с другими телами, о их соотношении по составу с одновременными вулканическими образованиями дайки делятся на группы по возрасту. Как правило, для одного этапа дайкообразования характерна гомодромная эволюция состава магмы от основного к кислому с завершающими щелочными дифференциатами.

Широко практикуется деление даек на дорудные и пострудные. Дорудные дайки могут пересекаться рудоносными жильными телами, обычно заметно изменены метасоматически и имеют геохимическую специализацию, сходную со специализацией рудоносных образований. Послерудные дайки, напротив, срезают рудоносные жилы, имеют резкие закаленные контакты с метасоматически измененными интрузивными телами и отличаются отсутствием вторичных изменений.

### **Изучение тектонических деформаций**

Любые из рассмотренных выше особенностей плутонов могут серьезно осложняться вследствие послеинтрузивных деформаций. Будучи вовлеченными в более поздние тектонические процессы, интрузивные тела могут претерпеть изменение формы, положения в пространстве, внутреннего строения и взаимоотношений с вмещающими толщами. Естественно, картирование интрузивных массивов должно сопровождаться изучением тектонических деформаций. При этом они, как правило, разделяются на пликативные и дизъюнктивные дислокации.

Пликативные дислокации влияют прежде всего на залегание интрузивов. Особенно отчетливо выражено такое влияние в доинверсионных интрузивах дунит-перидотитовой и дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Первоначально субгоризонтальные, пластовые и линзовидные залежи габбро и

гипербазитов могут приобретать позднее крутое падение и будинироваться. Крупные сининверсионные и постинверсионные плутоны тоналит-плагиогранит-гранодиоритовой и гранитовой формаций подвержены пластическим деформациям в краевых частях, где в кристаллических породах могут возникать вторичные директивные текстуры.

Дизъюнктивные дислокации проявляются в разделении интрузивных и сопутствующих им гидротермальных тел на блоки и смещении последних. Закладываясь по контактам интрузивных фаз и границам массивов, разрывные нарушения затрудняют определение характера взаимоотношений и возраста картируемых тел.

При исследовании разрывных дислокаций фиксируются их пространственное распределение и характер тектонических смещений. Ориентировка трещин изучается статистически с использованием графических способов обработки. Построение роз-диаграмм, стереограммы или вариационных кривых трещиноватости проводится с использованием значительного количества замеров элементов залегания, обычно более 150-200. Площадь сбора данных для построения одной диаграммы зависит от изменчивости геологической и тектонофизической обстановки и может составлять от 1-10 м<sup>2</sup> до 20 км<sup>2</sup> и более. Безусловно, отдельно изучается трещиноватость в самостоятельных геологических телах и блоках разделенных региональными разрывными нарушениями.

Большую помощь в выявлении и изучении разрывных нарушений оказывают результаты дешифрирования аэрофотоматериалов и микроструктурного анализа пород в бортах дислокаций.

### **Изучение гидротермальных образований**

При исследовании состава и внутреннего строения плутонов особое внимание уделяется гидротермальным образованиям различного типа – жилам, метасоматическим зонам, залежам и т.п. Подробно вопросы изучения таких образований рассмотрены во второй части курса.

### **Опробование горных пород**

В процессе геологической съемки подлежат систематическому опробованию породы, вмещающие плутон, породы всех выделенных фаз и фаций, а также ксенолиты и гидротермальные образования. При этом ключевыми вопросами являются качество проб, методика и цель их отбора.

Породы, из которых отбираются пробы, должны быть свежими, не иметь признаков выветривания и гидротермального изменения, не содержать включений и прожилков, за исключением случаев, когда изучению подвергаются именно изменения и неоднородности пород. При сильной фациальной изменчивости каменный материал должен отражать

преобладающие типы пород, крайние и переходные их разновидности. Образцами, шлифами и пробами должны быть охарактеризованы все крупные жильные и гидротермально-метасоматические тела, а при значительной мощности последних – их краевые и осевые части.

Наиболее часто используется точечный способ отбора проб с большой площади с последующим их объединением. Например, минералогическая проба берется с квадратной площадки в 100-400 м<sup>2</sup>, а площадкой для взятия пробы интрузивной фазы на силикатный анализ может служить весь участок развития данной фазы. В то же время данный способ пробоотбора малопроизводителен и пригоден лишь для площадного изучения относительно крупных геологических тел. Вследствие этого часто рекомендуется штучный способ, пригодный в любых условиях, в том числе для опробования прослоев, жил, даек и керн буровых скважин.

Вес штучных геохимических проб составляет 0,2-0,5 кг, минералогических – около 2 кг, гидрохимических – 1,5 л. Размер пробы иногда увеличивают в 2-3 раза имея в виду необходимость чистки дробилки и выпаривания сухого остатка. Кроме того вес пробы заметно возрастает при изучение грубо- и гигантозернистых пород и, особенно, в случае необходимости определения абсолютного возраста и состава отдельных минералов. В последних двух случаях вес проб зависит от содержания и распределения минерала в породе и может достигать 100-500 кг.

Из каждого объекта отбираются несколько проб: 2-3 – из второстепенных тел, не менее пяти – на дорогостоящие виды анализов, но обычно 30-50 проб. Пункты отбора располагаются равномерно по площади тела или его изучаемой части. При наличии большого количества неоднородностей (шлиров, жил, зон прослоев) эта равномерность нарушается, приходится увеличивать количество проб и учитывать относительный объем опробуемых частей тела.

Опробование сопровождается сплошным отбором образцов, сколков на шлифы, а также по усмотрению геолога, ориентированных образцов, сколков на аншлифы и генетических образцов, фиксирующих взаимоотношения тел. При необходимости отбираются также кубообразные петрофизические образцы, часто по отдельным опорным профилям, вкрест простирания интрузивных контактов. Съемка может сопровождаться поисковым геохимическим и гидрохимическим опробованием. Размер образцов и сколков определяется абсолютным и относительным размером зерен горных пород и составляет обычно от 100-200 г до 500 г.

В точке отбора проб и образцов описываются геологическая геоморфологическая ситуация и обнаженность. Обязательно отмечаются степень типичности и однородности горной породы, наличие в ней следов гибридизма, метасоматоза и выветривания. Места отбора проб выносятся на карту фактического материала с указанием вида проб и образцов.

## Камеральный период

В процессе камеральной обработки полевых данных происходит дальнейшая детализация геологической карты: расчленяются внешне однородные группы пород, намечаются скрытые постепенные петрографические переходы или, наоборот, объединяются в единые тела слои небольшой мощности, выделенные в поле.

Можно выделить следующие главные задачи, решаемые в значительной степени или исключительно в камеральный период: 1) диагностика горных пород и минералов; 2) выявление геохимических особенностей интрузивных пород; 3) расчленение интрузивных образований; 4) возрастная корреляция интрузивных образований; 5) определение рудоносности различных групп интрузий.

Наиболее важными видами камеральных работ являются: 1) петрографические исследования; 2) минералогические исследования; 3) петрохимические исследования; 4) геохимические исследования; 5) гидрохимические исследования; 6) петрофизические исследования; 7) радиологические исследования; 8) статистическая обработка данных.

## Петрографические исследования

Целью петрографических исследований является получение систематических данных о минеральном составе и строении горных пород, которые могут быть положены в основу интерпретации результатов картирования. Результаты исследований представляют собой детальные петрографические описания видов и разновидностей горных пород.

Наиболее полная и объективная информация о горной породе может быть получена при изучении шлифов под микроскопом. Изучение проводится по стадиям: 1) предварительный просмотр; 2) валовое описание; 3) групповое описание; 4) специальные исследования.

*Предварительный просмотр* шлифов проводится с целью знакомства с микроскопическими особенностями изучаемых пород. На этой стадии составляются полные списки породообразующих, аксессуарных и вторичных минералов, а также структур и текстур горных пород.

*Валовое описание* шлифов проводится по единому плану с целью системного сбора информации и исключения влияния субъективного фактора. Этот план включает следующие пункты: 1) количественный минеральный состав; 2) описание минералов; 3) структура; 4) текстура; 5) вторичные изменения; 6) название породы.

*Групповое описание* шлифов проводится как для обобщенной петрографической характеристики групп интрузивных образований (фаз, фаций, измененных горных пород и т.п.), так и для углубленного изучения опорных точек наблюдения (проявления гибридных пород, метасоматитов,

взаимоотношений интрузивных тел и т.п.). Описанию подвергается ограниченное количество шлифов, которое определяется петрографом, исходя из площади развития, зернистости, изменчивости и генетического значения каждой данной группы пород. Обычно отбирают от 5-10 до 15-20 шлифов на группу.

Групповое описание начинается обычно с наиболее типичного шлифа, проводится по тому же плану, что и валовое, но более детально. Так, количественно-минералогические подсчеты осуществляются с точностью до 1 %. Минералы описываются подробно с указанием всех микроскопически наблюдаемых свойств. Фиксируются также взаимоотношения минералов, наличие в них и характер двойников, зон роста, включений, эпигенетических минералов и следов деформации.

При описании структуры и текстуры отмечают размеры и морфологию зерен породобразующих и акцессорных минералов, их распределение в пространстве и особенности взаимоотношений, выявляют ряд идиоморфизма, структурные признаки последовательности минералообразования. Полученные данные по каждой группе шлифов обобщаются и составляются сводные характеристики видов и разновидностей горных пород.

*Специальные исследования* проводятся с использованием федоровского и иммерсионного методов и микроструктурного анализа. С помощью федоровского метода устанавливают состав плагиоклазов, законы двойникования и степень упорядоченности калиевых полевых шпатов и плагиоклазов, углы  $c: Ng$ ,  $2V$  и величину двупреломления пироксенов, амфиболов, оливинов. В случаях, когда диагностика минералов (слюд, амфиболов и др.) невозможна без точного определения показателей преломления, используют иммерсионный метод.

Весьма важен для решения ряда геолого-петрологических задач микроструктурный анализ, позволяющий устанавливать ориентировку породобразующих минералов. По взаимному расположению минеральных зерен судят о форме и строении плутона, активности и направлении перемещения магмы, и наложенных тектонических процессах.

### **Минералогические исследования**

Большое значение при обработке данных картирования интрузивных образований имеет изучение акцессорных минералов. Их состав, количество, физические свойства и парагенезисы успешно используются для расчленения и корреляции магматических комплексов, оценки условий образования и рудоносности интрузий. К сожалению, в связи с небольшим размером обычных петрографических шлифов вероятность попадания в них большинства акцессориев невелика. Кроме того, многие хрупкие минералы – гранат, торит, сульфиды и др. – часто выкрашиваются при изготовлении шлифов. Поэтому

изучение аксессуарных минералов осуществляется в раздробленных пробах горных пород – протолочках.

Минералогическое изучение пробы спектральным и термическим методами начинается с фракции  $< 0,05$  мм, которая добывается в результате отмучивания пробы и длительного отстаивания. После отмучивания высушенные пробы расслаиваются на классы  $> 0,1$  и  $< 0,1$  мм. Пробы основных и ультраосновных пород, богатых тяжелыми пороодообразующими минералами, подвергаются магнитной и электромагнитной сепарации с последующей отмывкой немагнитной фракции. Пробы кислых и средних пород обогащаются на концентрационном столе или в лотке, а полученные серые шлихи делятся в тяжелых жидкостях, сплавах или суспензиях на легкую и тяжелую фракции. Тяжелые фракции, содержащие почти все аксессуарные минералы, делятся магнитными и электромагнитными на ряд фракций, которые затем изучаются под бинокулярной лупой.

Начинается изучение минералов с их морфологии: указываются идиоморфизм, габитус кристаллов, устанавливаются простые формы, двойники, описываются дефекты кристаллов и рельеф граней. Определение размера зерен производится с помощью окуляр-микрометров и фотоснимков с фиксированным увеличением. Из физических свойств отмечают цвет, прозрачность, блеск, твердость, спайность. Для изучения люминесценции применяют специальные осветители. Определение удельного веса осуществляется путем оптического измерения объема вытесняемой минералом жидкости. Обязательно изучаются всевозможные оптические свойства минералов как иммерсионным методом, так и в специальных шлифах, изготовленных из материала тяжелой фракции. Рудные минералы изучаются в отраженном свете. Наблюдения шлихов дополняются использованием полированных прозрачных шлифов или аншлифов. При этом обязательно определяются главные показатели отражения, дисперсии, цвет в белом свете, двуотражение и анизотропность.

Химический состав минералов определяется с помощью химического и спектрального анализа монофракций. В сложных случаях (низкое содержание минерала, присутствие близких по оптическим и физическим свойствам минералов и т.д.) применяется микрохимический анализ. Изучение химизма аксессуарных, содержащих радиоактивные элементы, проводят с помощью методов люминесцентного определения и ядерных эмульсий.

Количественно-минералогический анализ протолочек может осуществляться несколькими способами. Наиболее экспрессным, но и наименее точным способом является визуальная оценка содержания минералов в шлихе: преобладает – более 50 %, много – 30-50 %, обычен – 15-30 %, мало – 5-15 %, очень мало –  $< 5$  %, в единичных зернах. Более точным является способ взвешивания фракций аксессуарных, содержащих один-два главных минерала и выделенных различными способами обогащения в нескольких гранулометрических классах. Точность количественно-минералогических

подсчетов можно повысить додрабливанием крупных классов легкой фракции, это повышает выход аксессуаров, либо введением коэффициента потерь, вычисляемого по результатам сравнения подсчетов распространенного минерала в шлихе и в больших шлифах.

Вторым важнейшим вопросом является корреляция интрузивных тел по составу их аксессуарных комплексов. Наиболее часто при этом используются данные о содержаниях постоянно встречающихся апатита, титанита, циркона, а также широко распространенных монацита, ортита, рутила, флюорита, магнетита, пирита, ильменита. Следует помнить о возможности наследования типоморфных минералов интрузивных фаз более поздними жильными образованиями. Корреляция интрузивных образований и определение их относительного возраста всегда проводятся с учетом естественных тенденций эволюции аксессуарных минеральных комплексов.

Несмотря на повышенную трудоемкость, минералогические работы весьма эффективны и проводятся в отношении пород всех выделенных петрографических групп. Помимо решения задач расчленения и корреляции интрузивных тел, минералогические методы позволяют раскрывать формы нахождения в породах большинства полезных компонентов и оценивать тем самым потенциальную рудоносность интрузивов.

### **Петрохимические исследования**

Петрохимические исследования представляют собой анализ и интерпретацию данных о содержании в породах петрогенных окислов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Для силикатного анализа породы требуется 5-10 г вещества. Содержание каждого окисла оценивается до сотых долей процента, что соответствует точности взвешивания материала. Точность химического анализа довольно невелика, обратно пропорциональна содержанию элемента и достигает нескольких процентов. В связи с этим сравнение результатов силикатного анализа желательно производить по данным одной и той же лаборатории и использовать только анализы с суммой окислов 99,2-100,8 %. При петрохимических исследованиях широко используются результаты колориметрического, пламенно-фотометрического и количественного спектрального анализов.

Анализ петрохимических данных ведут обычно с использованием различных комплексных показателей и коэффициентов. Обычно пользуются системами пересчета А.Н. Заварицкого, Е.А. Кузнецова, П. Ниггли и др. Наиболее распространен в России метод А.Н. Заварицкого, позволяющий вычислять коэффициенты, отражающие закономерные ассоциации элементов, наглядно отражать результаты пересчетов и диагностировать породы по параметрам Q и a/c. Кроме того, учитывая существование большого количества



вариационных и классификационных диаграмм нормативно-молекулярных составов, приходится производить пересчеты по системам CJPW и П. Ниггли.

Основными задачами, решаемыми путем петрохимических исследований являются: 1) диагностика пород; 2) расчленение пород; 3) корреляция пород; 4) выявление закономерностей образования пород; 5) определение металлогенической специализации интрузивных тел.

Диагностика интрузивных пород осуществляется с использованием данных об отдельных наиболее важных элементах или полных анализах. Наибольшее значение в этом отношении имеют концентрация  $\text{SiO}_2$ , сумма содержаний  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ . Обычно деление пород по группам А.Н.Заварицкого проводится с помощью диаграммы  $\text{SiO}_2 - \Sigma (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ , а по разновидностям – с использованием петрографических особенностей и соотношения  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ . В последнем случае используется диаграмма  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ . Диагностика по полным силикатным анализам осуществляется по методу А.Н. Заварицкого с использованием диаграммы *а-в*.

*Расчленение интрузивных пород* неразрывно связано с изучением их комагматичности. Для выделения родственных петрографических групп, исходя из модели нормального кристаллизационного фракционирования магмы основного состава, служат диаграммы Е.С. Ларсена, Л.Р. Уэджера и В.А. Дира, А. Польдеваарта, Е.С. Симпсона, и А.В. Паркера. При разделении пород, связанных с различными магматическими очагами, используются диаграммы Ф.Р. Апельцина и Д.М. Шейнманна, А.Н. Киселева и А.Я. Салтыковского и др. Для расчленения гранитоидов щитов и складчатых областей применяются диаграммы А.Н. Заварицкого или В.Н. Лодочникова.

При наличии значительного количества аналитических данных для расчленения интрузивных пород используются различные петрохимические коэффициенты. Одним из способов является использование показателя дифференцированности У. Райта  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - \text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O})$  или щелочно-известкового индекса Дж.Д. Пикока. Щелочные породы принято делить на группы по коэффициенту агпаитности  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$  на щелочно-земельные ( $< 0,55$ ), плюмазитовые ( $0,55-0,85$ ), агпаитовые ( $0,85-1,50$ ) и ультраагпаитовые ( $> 1,50$ ). Применяются также такие параметры как коэффициент глиноземистости  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ , общей щелочности  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ , железистости  $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ , титанистости  $\text{TiO}_2/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ , марганцовистости  $\text{MnO}/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  и др.

*Корреляция интрузивных пород* заключается в определении их принадлежности к конкретному комплексу или фазе. Для этого предварительно изучают их фациальную изменчивость. Фации глубинности выявляются с помощью коэффициентов окисленности железа  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$  и др., отношения  $\text{Mn}/\text{Fe}$ , диаграмм минеральных параметров в зависимости от давления и химического потенциала воды. Глубина эрозионного среза иногда определяется по соотношению  $\text{Mg}$  и  $\text{K}$  или по коэффициенту петрохимической

полярности  $(a+s)/(v+c)$  с использованием параметров А.Н. Заварицкого. Петрохимические критерии корреляции выбираются с учетом выявленной фациальной изменчивости петрографических групп, исходя из требования максимальной стабильности этих критериев.

*Установление генезиса* горных пород производится с помощью петрохимических диаграмм и статистических расчетов. При этом могут решаться различные конкретные задачи: изучение особенностей исходного расплава, доказательство магматической природы пород, оценка комагматичности и роли постмагматических процессов и т.п. Например, тип магмы может определяться с помощью диаграмм Ю.М. Шейнманна  $SiO_2 \div ((Na_2O + K_2O) / (MgO + FeO + Fe_2O_3 + Al_2O_3 + CaO))$ , В.А. Кутолина  $(FeO + Fe_2O_3) / (FeO + Fe_2O_3 + MgO) \cdot 100 \div (Al_2O_3 - (2CaO + Na_2O + K_2O))$  и др.

*Металлогеническая специализация* пород оценивается с помощью петрохимических признаков благоприятной дифференциации магмы и ее постмагматической переработки, но наиболее эффективны для решения этой задачи данные о редких элементах.

### **Геохимические исследования**

Геохимические методы дополняют петрохимические, а в вопросах определения металлогенической специализации пород и поисков ореолов рассеяния рудных элементов играют ведущую роль. Достоверность результатов исследований зависит от качества подготовки геохимических проб. Во избежание заражения проб как при дроблении, так и при истирании необходимо объединять их в однородные петрографические группы и обрабатывать в последовательности от кислых к основным и от свежих к измененным и рудным.

Существующие аналитические методы различаются по точности, спектру определяемых элементов, чувствительности, трудоемкости и стоимости. Выбор метода зависит от целей исследования. Для корреляции пород используются точные методы анализа небольших групп элементов. Для изучения ореолов рассеяния, наоборот, требуется определение 30-40 элементов, пусть и с меньшей точностью. Наиболее распространены сегодня спектральные методы – полуколичественные, применяемые для низкоточного (30-50 %) валового анализа проб, и количественные, позволяющие точно определять отдельные элементы (Sr, Ba, Rb, Cs, Li, Pb, Zn, Cu, Mo, Co, Cr, Ni и др.). Точные виды анализов желательно выполнять в одной лаборатории и в один прием.

В ряде случаев (изучение валентного состояния, высокоточное определение, анализ летучих и радиоактивных элементов, редких земель, тантала, гафния и др.) используются другие методы. Помимо весовых химических методов большую точность обеспечивают колориметрический анализ (Cr, V, Ni, Co, Ti, P, Th, Zr), полярографический анализ (Pb, Zn, Cu),

пламенная фотометрия (K, Na, Rb, Cs, Li), рентгено-флюоресцентный анализ (Nb, Ta, Hf, W, U, Th), люминесцентный анализ (U).

Данные лабораторных исследований подвергаются статистической обработке с целью решения различных геолого-петрологических задач. Так, закономерное изменение содержания химических элементов от ранних фаз к поздним используется для расчленения интрузивных комплексов, а типичные геохимические ассоциации, возникающие при взаимодействии расплава с вмещающими породами, кладутся в основу изучения гибридизма. Наличие и степень дифференциации интрузивного комплекса отражается в величине дисперсии содержаний элементов, а тип исходной магмы изучается по элементам, малочувствительным к изменениям условий кристаллизации. Наконец, металлогенический прогноз часто строится на аномалиях содержаний в породах рудных элементов или данных об обогащении этими элементами поздних фаз. Детальные геохимические исследования позволяют выявить круг химических элементов – индикаторов тех или иных особенностей интрузий, в том числе индикаторов рудоносности.

Дальнейшие работы заключаются в составлении моно- и полиэлементных карт. Моноэлементные карты, построенные на геолого-структурной основе, в сочетании с данными о формах нахождения элементов в породах позволяют выявить аномальные участки и принять решение о их перспективах на полезные ископаемые. Полиэлементные карты служат основой объективного комплексного металлогенического прогноза. Они позволяют с помощью различных графических способов отображения геохимической информации выявить участки, перспективные на обнаружение оруденения, в том числе и слепого.

### **Гидрохимические исследования**

Гидрохимические исследования при картировании интрузивных образований дополняют геохимические исследования и служат для решения задач корреляции и расчленения петрографических групп, определения комагматичности интрузий. Гидрохимический метод наиболее эффективен при проведении геологической съемки в закрытых районах. Он позволяет проследить под покровом рыхлых отложений не только контакты интрузивных тел, но и разрывные нарушения, зоны гидротермальных изменений и участки скрытого оруденения.

Собранные в полевой период пробы воды родников, скважин, ручьев и т.п. переводятся в сухой остаток и исследуются на 42 элемента методом полуколичественного спектрального анализа. Для определения W, Ge, K, U, Na, As, Zn, Yn, Hg, Cd, Au, Te, Ta, Th, Be, Nb, Ca применяются химические и физические методы. Полученные данные обрабатываются статистически с учетом принципов гидрогеохимического анализа, из которых главным является принцип соответствия концентраций элементов в системе вода – породы.

Можно рекомендовать следующую последовательность гидрогеохимического анализа районов развития интрузивных образований.

1. Выяснение степени химической однородности природных вод района, условий водообмена, факторов минерализации, выделение элементарных гидрохимических сред.

2. Расчет средних концентраций элементов в каждой элементарной гидрохимической среде.

3. Определение методом кларков степени обогащенности природных вод отдельными элементами для каждой области питания. Выявление моно- и полиэлементных гидрохимических аномалий.

4. Выделение гидрогеохимических ассоциаций элементов для каждой области питания.

5. Составление крупномасштабной полиэлементной карты кларков концентрации, содержащей сведения о типах элементарных гидрохимических сред, особенностях распространения элементов в границах аномалий и бассейнов питания, типах гидрогеохимических ассоциаций и водовмещающих породах.

6. Анализ гидрогеохимических ассоциаций, а также формы, размера, ориентировки и гидрохимических аномалий и их связи с водными ореолами.

### **Петрофизические исследования**

Камеральные исследования петрофизических материалов включают их статистическую обработку и составление петрофизических карт. Статистическая обработка начинается с подготовки первичных данных, вычисления статистических характеристик и построения кривых распределения. Далее выделяются однородные петрофизические группы, проводится анализ корреляционных связей физических свойств с петрографическими характеристиками горных пород. Обязательным является вычисление средних значений, дисперсии (стандарта) и асимметрии всех исследуемых петрофизических переменных.

Петрофизические карты (петроплотносные, петромагнитные, естественной радиоактивности, скорости упругих волн и др.) строятся с целью наглядного представления о пространственной изменчивости физических параметров горных пород. На них отмечаются абсолютные и приведенные аномальные значения соответствующих характеристик, а также распределение пород различных петрофизических групп и комплексов.

### **Радиологические исследования**

Задачи определения абсолютного возраста и последовательности образования горных пород решаются с помощью радиологических методов, основанных на явлении радиоактивного распада ряда элементов. Обычно

определяют соотношение продуктов распада и первичного изотопа:  $Ar^{40}/K^{40}$ ,  $Sr^{87}/Rb^{87}$ ,  $Pb^{208}/Th^{232}$ ,  $Pb^{206}/U^{238}$ ,  $Pb^{207}/U^{235}$  и др. Исследования включают в себя отбор мономинеральных фракций минералов, содержащих изучаемый изотоп, а также собственно радиологический анализ пробы в геохронологической лаборатории.

Следует обратить особое внимание на соблюдение технологических правил сепарации минералов. Необходимо стремиться к максимальному раскрытию агрегата и извлечению изучаемых минералов (слюд, амфиболов, уранинита, торита, циркона, ортита и др.). На точность определения возраста влияет также точность применяемых химических и физических методов, а также степень миграции элементов в геологической истории объекта.

Особенно серьезные ошибки вызываются наложенными геологическими процессами, нарушающими изучаемое изотопное соотношение. Так, применение аргонового метода ограничивается действием на изучаемые породы термального фактора. Радиогенный аргон удаляется из полевых шпатов и биотита при нагревании уже на  $200\text{ C}^\circ$ . Разница в определении возраста по устойчивому в данном отношении мусковиту и полевому шпату достигает для протерозойских пород 300-500 млн.лет. Не менее сильно осложняется применение аргонового метода привнесением-выносом калия в областях гидротермальной микроклинизации, альбитизации и выветривания горных пород.

Нарушение изотопных соотношений, изучаемых свинцовым методом, зависит от характера факторов привноса-выноса свинца, урана и тория. Для докембрийских минералов обычно используют наиболее стабильное отношение  $Pb^{207}/Pb^{206}$ , в фанерозойских породах изучают отношения  $Pb^{206}/U^{238}$ ,  $Pb^{207}/U^{235}$  или  $Pb^{208}/Th^{232}$  в урановых или ториевых минералах. На практике используются определения по нескольким сингенетическим минералам с последующей графической обработкой. В любом случае оценка надежности геохронологических определений может быть затруднительной. Ее производят с учетом всей геологической истории объекта и минералого-петрографической информации о породе.

### **Статистическая обработка данных**

Исследования минералогических, геохимических, петрофизических и других особенностей горных пород сопровождается получением многочисленных количественных данных. Эти данные необходимо систематизировать, «свертывать» с целью быстрого и полного их использования, а также для получения представления обо всем объекте исследования. Для решения этих задач проводится обработка имеющейся геологической информации на базе методов теории вероятностей и математической статистики.

На первом этапе статистические исследования сводятся к определению законов распределения случайных величин, вычислению их средних значений, дисперсии, асимметрии и других стандартных параметров. Как правило, современные исследования включают также корреляционный анализ матрицы изучаемых признаков.

На втором этапе проводятся многомерные статистические исследования. Особенно важной задачей является сравнение выборок данных для оценки сходства-различия интрузивных фаз, фаций, комплексов. Эта задача решается путем формирования и оценки справедливости статистических гипотез.

Одним из современных статистических методов является факторный анализ, позволяющий путем расчленения дисперсий случайных величин на составляющие получать серию дополнительных комплексных параметров-факторов. Главные факторы, как правило, могут интерпретироваться генетически и использоваться при расчленении и картировании интрузивных образований. Вершиной статистической обработки данных является математическое моделирование изученных интрузивных образований с целью восстановления истории их образования и развития.

Данные, полученные в результате полевого и камерального изучения интрузивных образований, используются на завершающем этапе геокартирования для решения следующих главнейших задач: 1) выделение интрузивных комплексов; 2) определение условий формирования интрузий; 3) выделение интрузивных формаций; 4) оценка перспектив региона на полезные ископаемые.

## **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Исследования последних десятилетий показывают, что гидротермально-метасоматические образования теснейшим образом связаны генетически и пространственно с оруденением. Это обстоятельство делает метасоматиты универсальным поисковым признаком рудопроявлений. В силу своей относительно широкой распространенности в рудных узлах и на месторождениях гидротермальные изменения обнаруживаются быстрее и легче, чем руды, помогают прогнозировать слепое оруденение. Состав и характер зональности метасоматитов позволяет оценивать тип и состав оруденения. В ряде случаев они играют роль среди рудоотложения (скарны, пропилиты) или сами являются рудами (оловорудные грейзены, железорудные скарны, золоторудные березиты и т.д.).

Вместе с тем, гидротермально-метасоматические образования представляют собой крайне сложный объект исследования. Они характеризуются резкой неоднородностью, отражающей изменчивость состава и свойств гидротермальных растворов и неоднородность исходных пород,

сильно зависят в своем распространении и масштабах проявления от конкретных структурно-геологических условий.

Переход геологической службы к составлению Гостгеолкарты-50 и первоочередное сосредоточение геологосъемочных работ в важнейших горнорудных районах делают необходимой разработку научных и методических основ крупномасштабного геокартирования гидротермально-метасоматических образований. В 1986 г. опубликована инструкция по организации и производству геологической съемки масштаба 1:50 000 (1:25 000). Методические особенности съемки метасоматических образований освещены в методических указаниях работах И.О. Омеляненко и Е.В. Плющева.

Особое значение для практики геологосъемочных работ имеет методика крупномасштабного картирования и комплексного геолого-геохимического изучения рудоносных гидротермально-метасоматических образований, разработанная во ВСЕГЕИ под руководством Е.В. Плющева.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Учение об околорудных метасоматитах зародилось в начале нашего века как следствие попыток научного объяснения явлений рудообразования. Развитие этого направления связано с именами В. Линдгрена, В.М. Гольдшмидта, В. Эммонса, А.Е. Бетехтина, Н.И. Наковника, Д.С. Коржинского, Г.Л. Поспелова и других. В настоящее время, благодаря работам В.А. Жарикова, Ю.В. Казицына, В.А. Рудника, А.А. Беуса, Г.Т. Волостных, Д.В. Рунквиста, Б.И. Омеляненко, В.Л. Русинова и др. достаточно хорошо изучены состав, зональность и условия образования отдельных групп метасоматитов - вторичных кварцитов, грейзенов, скарнов, березитов и др. Д.С. Коржинским, В.А. Жариковым, Ю.В. Казицыным, Д.В. Рундквистом, Б.И. Омеляненко предложены различные варианты их геолого-геологических классификации.

Исследование рассеянной эпигенетической минерализации Е.В. Плющевым, О.П. Ушаковым, О.П. Грязновым, С.С. Наумовым, Ю.Н. Размахниным и другими специалистами привело к открытию обширных ореолов слабого гидротермального изменения пород, площадью в десятки и сотни квадратных километров. Это заставляет рассматривать гидротермально-метасоматическую деятельность как планетарное геологическое явление, сопоставимое по масштабам и роли с магматизмом, осадконакоплением и метаморфизмом.

Учитывая несогласованность существующих теоретических оснований и методических приемов изучения гидротермальных рудных тел, околорудных метасоматитов и обширных зон слабых изменений, остановимся на определении основных понятий и описании структурно-вещественной

классификации гидротермально-метасоматических образований, пригодной для их картирования.

### **Гидротермально-метасоматические образования**

В процессе геологической съемки рудных районов и узлов объектами картирования являются гидротермально-метасоматические образования - вещественные производные взаимодействия гидротермальных растворов с вмещающими толщами. Взаимодействие носит характер осаждения в пустотах (миндалины, жеоды, прожилки и жилы выполнения и т.п.) или метасоматического замещения ранее сформированных минеральных агрегатов (метасоматические жилы, зоны и залежи). В случае просачивания гидротерм на поверхность образуются сингенетичные с вмещающими породами гидротермально-осадочные залежи, которые в данном пособии не рассматриваются.

Гидротермально-измененные породы (эпипороды) представляют собой, как правило, гетерогенные образования и состоят из сингенетических минеральных ассоциаций исходной породы и эпигенетических ассоциаций гидротермальных минералов. По содержанию последних различают виды эпипород: 1) 0–5 % – неизменная порода, 2) 5–30 % – слабо измененная порода, 3) 30–50 % – сильно измененная порода; 4) 80–100 % – новообразованная порода (гидротермалит).

Наиболее изученными являются безрудные гидротермалиты – полнопроявленные метасоматиты и породы жил выполнения: вторичные кварциты, скарны, березиты, грейзены, пропилиты и др., хотя многие из перечисленных терминов толкуются по-разному, исходя из представлений об условиях гидротермального преобразования. Менее определенное положение в существующих классификациях занимают рудные гидротермально-метасоматические агрегаты, также достаточно хорошо изученные

Вместе с тем, преобладающим распространением в подвижных областях земной коры пользуются слабо измененные породы с количеством минеральных новообразований от 5 до 15 %. В каждом кубическом километре таких пород содержится в среднем  $10^8$  т гидротермально-метасоматического вещества, что сопоставимо с объемом крупного гидротермального месторождения. Слабо измененным породам уделяется при геологической съемке незаслуженно мало внимания, а их картирование проводится бессистемно, на основе визуального изучения или диагностики главных гидротермальных минералов.

### **Стадийность гидротермального процесса**

Гидротермальная деятельность в пределах подвижных областей земной коры развивается прерывно, в несколько этапов и стадий, разделенных стадиями тектонических преобразований.



*Этап минерализации* (гидротермального процесса) может быть определен как период формирования минеральных образований, в том числе руд, в результате деятельности нескольких потоков гидротермальных растворов, связанных со становлением определенного магматического комплекса. Длительность одного этапа составляет обычно несколько десятков миллионов лет. Этапность гидротермальной деятельности связывается, таким образом, с пульсирующим характером развития магматического очага.

*Стадия минерализации* (гидротермального процесса) это период минералообразования, в течение которого происходит формирование минеральных ассоциаций при участии гидротермальных растворов одного и того же потока, однократно поступившего из области питания, испытавшего один цикл термодинамической и кислотно-основной эволюции. Стадия минерализации соответствует по времени становлению магматической фазы. Ее длительность колеблется от первых сотен тысяч до первых миллионов лет. В течении одной стадии формируется обширная зонально построенная область слабо измененных пород сходного состава, а также серия тел гидротермалитов, размещенных определенным образом, в зависимости от структурно-геологической ситуации. Состав новообразованных пород в разных телах не одинаков вследствие различия состава исходных пород и эволюции состава гидротерм от очаговых структур к периферическим.

Совмещение в одних геологических структурах продуктов разных стадий и этапов минерализации существенно осложняет проведение геологической съемки в рудных узлах и районах. Эффективный металлогенический прогноз также невозможно без разделения гидротермальных образований на до-, син- и пострудные. Это делает необходимым серьезное изучение стадийности гидротермального минералообразования.

### **Метасоматическая зональность**

Коренной особенностью гидротермально-метасоматических образований является их зональное строение, отражающее пространственную упорядоченность развития метасоматических процессов.

*Метасоматическая зональность* – это закономерное, в виде зон той или иной конфигурации, распределение в пространстве эпигенетических минеральных ассоциаций и метасоматических тел различного состава.

Существует множество принципов классификации метасоматической зональности: 1) по расположению зон в плане (продольная, поперечная) и в пространстве (вертикальная, горизонтальная, объемная); 2) по форме зон в плане (линейная, концентрическая) и в пространстве (слоистая, чехольная, телескопическая); 3) по характеру границ зон (высококонтрастная, слабоконтрастная, неконтрастная); 4) по направлению изменения возраста зон относительно фокуса (центробежная, центростремительная, комбинированная); 5) по расположению зон относительно фокуса (симметричная, асимметричная);

б) по масштабу (региональная, районная, локальная) и т.п. Но все же, главным принципом классификации является происхождение зональности.

С генетической точки зрения принято выделять четыре иерархически соподчиненных типа зональности.

1. Зональность конкретного метасоматического тела – зональное распределение различных минеральных парагенезисов относительно флюидопроводника (собственно метасоматическая, фациальная зональность).

2. Зональность ареала одностадийных метасоматических образований – зональное распределение тел различной фациальной принадлежности (одностадийная, полифациальная, моноасцендентная зональность, зональность отложения, зональность II рода).

3. Зональность поля развития одноэтапных метасоматических образований – зональное распределение ареалов одностадийных метасоматических тел (формационная, многостадийная, полиасцендентная, пульсационная зональность, зональность I рода).

4. Зональность района развития метасоматических образований нескольких последовательных этапов гидротермальной деятельности – зональное распределение полей развития одноэтапных метасоматических образований (полиформационная, многоэтапная зональность).

С точки зрения металлогении зональность указанных четырех типов приблизительно отвечает зональности соответственно месторождения, рудного поля, рудного узла и рудного района.

Наиболее хорошо изучен к настоящему времени первый тип зональности, так как состав и зональность метасоматических ореолов, сопровождающих на месторождениях рудные жилы служат на практике важнейшим критерием поиска оруденения. При изучении зонально построенных околожилных ореолов и других метасоматических тел родилось понятие метасоматической фации.

*Метасоматическая фация* – это совокупность пород, образованных в различных зонах единой метасоматической колонки в результате воздействия растворов определенной стадии гидротермального процесса в определенных условиях температуры, глубинности (давления), при определенном составе исходных пород, определенной подвижности компонентов и активности вполне подвижных компонентов в растворе.

Метасоматическая фация является как бы идеальным образом, отражающим зональность метасоматических тел, сформированных в определенных минералого-петрографических и физико-химических условиях. Так, типичная метасоматическая колонка известковых эндоскарнов выглядит следующим образом (от внешних зон к тыловым):

- 1) пироксены + плагиоклаз + ортоклаз + кварц (исходная порода);
- 2) пироксены + плагиоклаз + ортоклаз;
- 3) пироксен + плагиоклаз;
- 4) пироксен + гранат;

5) гранат.

Зональный ряд парагенезисов апогранитового грейзенового тела включает обычно следующие парагенезисы:

1) кварц + ортоклаз + олигоклаз + биотит(гранит);

2) кварц + ортоклаз + альбит + мусковит;

3) кварц + ортоклаз + мусковит;

4) кварц + мусковит;

5) кварц.

В практике крупномасштабных геолого-съемочных работ необходимо не только изучать зональность отдельных тел, но и оконтуривать ареалы распространения тел разных фаций, стадий и этапов гидротермального процесса. Выявление метасоматической зональности второго, третьего и четвертого типов способствует восстановлению истории гидротермально-рудных процессов, позволяет связывать оруденение с определенными гидротермальными образованиями и выработать критерии прогнозирования и оценка оруденения.

### **Метасоматическая формация**

Наиболее известные и хорошо изученные метасоматиты и их естественные ассоциации – метасоматические фации связываются в петрологии, с конкретными геологическими условиями образования, при которых гидротермальные растворы с определенными физико-химическими параметрами воздействуют на определенные исходные горные породы, как правило, нормальные алюмосиликатные. Так, фация кварц-мусковитовых грейзенов образуется при автосоматической обработке кислыми высокотемпературными растворами материнских гранитов: фация диопсид-гранатовых скарнов связывается с деятельностью высокотемпературных растворов на контактах остывающих гранитоидных интрузий и известьсодержащих вмещающих толщ и т.п.

Вместе с тем, в реальных геологических условиях аналогичные гидротермальные растворы могут взаимодействовать с породами совершенно иного состава, что приводит к формированию иных, весьма своеобразных метасоматических фаций. Для объединения непохожих, но генетически родственных гидротермалитов используется понятие метасоматической формации.

*Метасоматическая формация* – это совокупность метасоматических фаций, образованных в области воздействия гидротермального раствора с определенными физико-химическими параметрами на породы различного состава. Это петрологическое определение относится к зонально построенным телам гидротермалитов и соответствует понятию *локальной* метасоматической формации.

С учетом широкого распространения в рудных районах слабо измененных горных пород выделяются также региональные метасоматические формации – целостные зонально построенные области проявления статистически устойчивых ассоциаций гидротермальных минералов и эпипород, сформированные в подвижной области в результате определенного геологического события.

### **Классификация гидротермально-метасоматических пород**

Существующие классификации метасоматитов носят в основном отчетливый петрологический и геолого-генетический характер. Единицей классификации, как правило, являются метасоматическая фация или формация, а в качестве классификационных признаков используются характер зональности метасоматических тел и геологические условия их образования. Однако, указанные классификации неудобны для практической петрографической работы, а при картировании полей слабых гидротермальных изменений просто неприемлемы.

Наиболее рациональной с точки зрения картирования гидротермально-метасоматических образований является структурно-вещественная классификация, предложенная коллективом ВСЕГЕИ под руководством Е.В. Плющева. Суть этой классификации заключается в выделении статистически устойчивых минеральных ассоциаций, сохраняющих главные особенности состава и структуры во всем объеме гидротермального тела или зоны частичного замещения (выполнения). Состав ассоциации определяется видами сингенетических и структурно связанных гидротермальных минералов, а ее структура – количественными, пространственными и возрастными взаимоотношениями минералов, а также размерами их кристаллических индивидов.

*Состав* статистически устойчивых минеральных ассоциаций позволяет разделить их на три контрастные *группы*: 1) кварц-светлослюдистые; 2) темноцветная; 3) полевошпатовая.

1. Кварц-светлослюдистые минеральные ассоциации включают в основном кварц, светлые калиевые слюды, гидрослюды, глинистые минералы и смешаннослойные слюдисто-глинистые минералы. Подчиненную роль в составе ассоциаций играют цеолиты, хлориты, альбит, калиевый полевой шпат, а также амфиболы, эпидот и др.

Типичными представителями группы кварц-светлослюдистых ассоциаций являются такие известные метасоматиты как грейзены, вторичные кварциты, аргиллизиты и березиты. Сюда же входят фациальные аналоги этих метасоматитов: цвиттеры, топазовые грейзены, алюмокварциты, листовениты, серицитолиты, агальматолиты, джаспероиды, гидросерицитолиты и др. В данную группу включаются также соответствующие жильные гидротермалиты, в том числе кварцевые жилы с мусковитом, серицитом и гидрослюдами.

2. Темноцветные минеральные ассоциации включают в качестве породообразующих минералов железо-магний-кальциевые силикаты и алюмосиликаты: цоизит, клиноцоизит, эпидот, пренит, пумпеллиит, хлориты, амфиболы, пироксены, биотит, гранаты и др. В качестве примеси могут присутствовать щелочные полевые шпаты, кварц, карбонаты, турмалины, субщелочные амфиболы, скаполиты, кальциевые цеолиты, монтмориллонит и др.

Данная группа представлена типичными скарнами и пропилитами, а также разнообразными скарноидами и пропилитоидами: гранат-скаполитовыми, плагиоклазовыми, турмалин-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами, биотитами, эпидозитами и т.п. Сюда же включаются хлорит-эпидотовые, хлорит-амфиболовые и различные скарновые жильные образования.

3. Полевошпатовые минеральные ассоциации включают прежде всего щелочные полевые шпаты – альбит, ортоклаз, микроклин, а также кварц, адуляр, эгирин, рибекит, биотит, актинолит и хлориты. Подчиненную роль играют карбонаты, светлые калиевые слюды, флогопит, эпидот, гематит и др.

В эту группу включаются разнообразные моно- и двуполевошпатовые метасоматиты (альбититы, калишпатиты, фельдшпатиты) и кварц-полевошпатовые метасоматиты (альбитолиты, калишпатолиды, фельдшпатолиды). Группа полевошпатовых ассоциаций наименее изучена и характеризуется большим разнообразием терминов, частично перекрывающих друг друга по значению: фенит, апогранит, вторичный аляксит, квальмит, каммалит, альбит-калишпатовый метасоматит, вторичный сиенит, эйсит, гумбеит, альбитофир, фельдшпатофир и т.п. Кроме того, в группу входят фациальные разновидности щелочных метасоматитов (биотитовые, эгириновые, калишпат-турмалиновые метасоматиты, адуляриты, спилиты и др.)

В каждой из указанных групп выделяются две подгруппы: однородная и неоднородная. Первая подгруппа объединяет гидротермалиты, представленные простыми однородными минеральными ассоциациями, равновесные в физико-химическом отношении, – грейзены, вторичные кварциты, аргиллизиты, скарны, пропилиты, фельдшпатиты.

Гидротермалиты неоднородной подгруппы отличаются более сложным, смешанным составом минеральных ассоциаций. В них наряду с типоморфными минералами соседних групп (березиты, полевошпатовые скарны и пропилиты, фельдшпатолиды).

*Структура* статистически устойчивых минеральных ассоциаций наиболее сильно дифференцирована по признаку абсолютного размера зерен породообразующих минералов, что позволяет выделить три раза ассоциаций: 1) скрыто-мелкокристаллические; 2) мелко-среднекристаллические; 3) средне-крупнокристаллические.

1. Скрыто-мелкокристаллические минеральные ассоциации характеризуются средним размером зерен менее 0,01 мм, преобладанием

микрозернистых и колломорфных структур и структур закономерных сростаний (концентрически-зональных, радиально-лучистых и т.п.), а также прожилково-вкрапленных текстур. Для этого ряда характерны такие минералы-индикаторы: гидросерицит, каолинит, смешаннослойные слюдисто-глинистые минералы, опал, халцедон, адуляр, хлориты, железистый эпидот, цеолиты, барит, алунит и другие сульфаты, аршиновит, колломорфные разности сульфидов. В состав ряда входят аргиллизиты, гидросерицитовые березиты, хлоритовые и полевошпат-хлоритовые пропилиты, хлоритовые фельдшпатиты (эйситы, гумбеиты и др.) и хлоритовые фельдшпатолиты (альбитофиры, калишпатофиры и др., а также их фациальные аналоги. Гидротермальные образования первого ряда связаны пространственно с областями развития вулканогенных пород.

2. Мелко-среднекристаллические минеральные ассоциации занимают промежуточное положение по зернистости (0,01-0,1 мм), часто представлены жильными образованиями с друзовыми структурами и полосчатыми или концентрически-зональными текстурами. Минералы-индикаторы второго ряда: серицит, диаспор, корунд, андалузит, актинолит, маложелезистый эпидот, турмалин, различные сульфиды. В этот ряд входят метасоматиты, ассоциирующие с гипабиссальными порфиоровыми интрузиями, такие как вторичные кварциты, серицитовые березиты, актинолитовые и полевошпат-актинолитовые пропилиты, актинолитовые фельдшпатиты и фельдшпатолиты, а также их фациальные аналоги.

3. Средне-крупнокристаллические минеральные ассоциации отличаются повышенным размером зерен породообразующих минералов (0,1-1,0 мм), что согласуется с их преобладающим развитием по яснокристаллическим интрузивным породам. Для них характерны автоморфные метасоматические структуры с хорошо развитыми кристаллическими индивидами. К ассоциации третьего ряда отличаются присутствием таких минералов как мусковит, топаз, амфиболы и пироксены (в том числе щелочные), гранаты, цоизит, клиноцоизит, везувиан, а также магнетит (титаномагнетит) и другие окислы тяжелых металлов. В состав ряда входят грейзены, березито-грейзены, скарны, полевошпатовые скарны, щелочно-амфиболовые, щелочно-пироксеновые, биотитовые фельдшпатиты, а также их фациальные аналоги.

Таким образом, все гидротермальные образования могут быть независимо классифицированы по составу (группы минеральных ассоциаций) и по структуре (ряды минеральных ассоциаций). Выделенные 18 типовых видов гидротермалитов могут быть положены в основу диагностики гидротермально-метасоматических образований, в том числе слабо проявленных эпипород в процессе геологического картирования.

Отметим, что описанная классификация разработана для так называемых фоновых гидротермально-метасоматических образований, пользующихся наибольшим распространением и сложенных породообразующими минералами, состав которых определяется петрогенными элементами (K, Na,

Ca, Mg, Fe, Al, Si, O, H). Выделяются также ореольные и рудные гидротермальные образования, сложенные минералами соответственно среднекларковых (S, Cl, F, Li, Sr, Ba, Cr, Mn, Zr, V, Ti, P, C, B) и редких (рудных) (Cu, Pb, Zn, Sn, Co, Ni, Au, Ag, Bi, Hg, Sb, As, Be, Th, U, Mo, Nb, Ta, W, Pb и др.) элементов: сульфидами, турмалином, флюоритом, баритом, лепидолитом, бериллом и т.п. Систематика таких пород разработана недостаточно, так как они редки, и исключительно разнообразны по составу. Геологические тела, сложенные ореольными и рудными гидротермалитами имеют часто промышленное значение, характеризуются при этом относительно небольшими размерами и являются не объектом, а целью крупномасштабной геологической съемки. Главным объектом специального картирования являются эпипороды, содержащие вкрапленность фоновых гидротермально-метасоматических образований.

### **ОРГАНИЗАЦИЯ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Установление в областях развития гидротермальных образований обширных, размерами в десятки и сотни квадратных километров, ареалов слабопроявленных эпипород, включающих в себя тела полнопроявленных, в том числе и рудоносных гидротермалитов, переводит геологическое картирование таких областей в разряд особо сложных видов исследований. На сегодняшний день в задачи крупномасштабной геологической съемки входит уже не только фиксация метасоматических тел и жил выполнения, но и обнаружение, оконтуривание и выявление зональности полей и зон слабо проявленных гидротермальных изменений пород.

Процесс геологической съемки разбивается на три последовательных периода: предполевой, полевой и камеральный.

#### **Предполевой период**

Геологическое картирование гидротермально-метасоматических образований проводится попутно с геологической съемкой масштаба 1:50 000 (1:25 000). Однако в ряде районов такие исследования производятся в виде доизучения площадей, что делает особо важными подготовительные работы.

В предполевой период собирается вся имеющаяся геологическая, геофизическая, петрографическая, минералогическая, геохимическая информация об изучаемом районе и его гидротермальных образованиях. Особое значение имеют подготовка геологической основы, данных о глубинном строении и гидротермальных проявлениях района, а также имеющаяся каменного материала.

В качестве геологической основы используются геологические карты соответствующего масштаба, на которых отражаются состав, формационная

принадлежность и возраст выделенных петрографических комплексов. Особое внимание уделяется следующим геологическим элементам, имеющих значение для изучения гидротермально-метасоматических образований.

1. Стратиграфические, угловые и структурные несогласия, которые могут соответствовать периодам гидротермальной активности района. При этом горизонты базальных конгломератов и песчаников проверяются в отношении наложенной минерализации.

2. Контакты интрузивных тел, которые, с одной стороны, несут информацию о возрасте плутоногенной гидротермальной деятельности, а с другой, – являются зоной локализации продуктов этой деятельности.

3. Разрывные нарушения, зоны повышенной трещиноватости, тектонического расщепления и брекчирования пород как: а) проводники гидротермальных растворов, б) структуры, локализирующие гидротермальные образования, в) структурные экраны. Анализируются порядок, протяженность, амплитуда и кинематический тип разрывных нарушений, восстанавливается, по возможности, эволюция поля тектонических напряжений.

4. Дайковые пояса и рои, поля субвулканических интрузий, прикальдерные флюидопорфировые комплексы как индикаторы участков эндогенной активности.

5. Блоки с различной историей геологического развития, особенно до- и сининверсионного магматизма, тектоно-магматической активизации, вулканических и приразломных депрессий.

Подготовка геологической основы сопровождается дешифрированием имеющихся аэрофотоматериалов (снимков, планов, карт). Основное внимание уделяется интерпретации выявленных линеаментов различного порядка (разрывные нарушения, дайковые пояса, минерализованные тектонические зоны, метасоматические зоны, гидротермальные жилы и т.п.). В отдельных случаях удается дешифрировать жильные поля и штокверки. Геологическая основа выполняется в черно-белом варианте, что делает необходимой корректировку легенды и индексации карты.

Глубинное строение территории, определяющее экстраполяцию зон гидротермально-метасоматических изменений на глубину, изучается особенно тщательно. При этом анализируются разрезы картировочных буровых скважин и строятся геологические разрезы, анализируются имеющиеся геофизические материалы и определяются глубинные контуры геологических тел, особенно интрузий, уточняется положение глубинных разломов и блоковое строение района. Особое внимание уделяется конфигурации и интенсивности гравитационного и магнитного полей.

Все ранее установленные гидротермальные проявления выносятся на кальки-накладки, выполненные в масштабе геологической основы. Приоритет отдается гидротермальным месторождениям и рудопроявлениям. На кальках отмечаются также все гидротермальные жилы, метасоматические зоны и залежи, поля прожилковой и гнездовой минерализации, геохимические



аномалии, связанные с эпигенетическими процессами. Легенда к калькам-накладкам должна учитывать положение гидротермалитов в петрографической и рудно-формационной классификациях, а также их относительный и абсолютный возраст.

Каменные материалы, планируемые для доизучения гидротермальных образований (образцы, шлифы, аншлифы), собираются в шлифотеках, керноскладах и других складах каменного материала, документируются и фиксируются на специальной кальке-накладке. Наибольшую ценность представляют материалы по скважинам и глубоким горным выработкам, которые не могут быть выполнены при проведении новых полевых работ.

Предполевой период завершается выделением в пределах территории опорных участков, которые отличаются наибольшей обнаженностью или максимальным сосредоточением горных выработок, а также наибольшей концентрацией гидротермально-метасоматических образований. В горно-промышленных районах опорные участки совпадают с площадями месторождений и рудопроявлений.

### **Полевой период**

Доизучение территорий в отношении гидротермально-метасоматических образований осуществляется путем решения следующих задач: 1) исследование рудоносных гидротермальных образований (изучение опорных участков); 2) исследование площадных слабопроявленных эпипород (площадные работы); 3) исследование полнопроявленных гидротермально-метасоматических образований, слагающих самостоятельные геологические тела (детальные работы); 4) опробование гидротермально-метасоматических образований.

### **Изучение опорных участков**

Особенностью полевого изучения территорий развития гидротермальных образований является проведение опережающих исследований площадей месторождений, рудопроявлений и точек рудной минерализации. Именно в этих пунктах гидротермальная деятельность носила наиболее интенсивный характер, в результате чего здесь можно наблюдать в наиболее контрастном виде состав, зональность, стадийность и особенности локализации гидротермалитов. Работы на опорных участках делятся на структурно-геологические, минералого-петрографические и опробование.

Структурно-геологические наблюдения на опорных участках имеют целью анализ условий локализации гидротермалитов. Они включают в себя массовые замеры элементов залегания трещин, разрывных нарушений второго и более высоких порядков, жильных тел; тектонофизический анализ трещиноватости и расшифровку истории формирования рудолокализирующих структур; маршрутные наблюдения изменчивости трещинных структур;

маршрутные наблюдения изменчивости трещинных структур между пунктами детального изучения. Результатом наблюдений являются модели рудолокализирующих структур в виде детальных планов: зарисовок, диаграмм и тектонических стереограмм.

При минералого-петрографическом изучении рудоносных и нерудоносных жил и метасоматических тел обращают внимание на следующие их особенности: 1) состав и структура пород; 2) соотношения с вмещающими геологическими образованиями; 3) метасоматическая зональность; 4) положение в схеме стадийности гидротермального процесса; 5) рудоносность и связь с рудными образованиями.

При описании состава и структуры гидротермалитов сопровождается следующими сведениями: а) условия залегания тела; б) обнаженность в точке наблюдения; в) степень выветреллости; г) эпигенетические изменения; д) текстурные неоднородности, в том числе минеральные гнезда и прожилки; е) рудная минерализация. Особо отмечается интенсивность гидротермальных изменений: для метасоматитов в объемных процентах, для прожилков в частотах на полный или квадратный метр.

Необходимо фиксировать все взаимоотношения изучаемых тел со стратифицированными образованиями, экструзивными и интрузивными телами, а также с другими телами гидротермалитов. При этом следует отчетливо различать случаи достоверных и недостоверных свидетельств последовательности образования жил и метасоматических зон. Достоверными являются случаи пересечения, блокирования жил и взаимоотношения типа «минерализованной брекчии». К недостоверным относятся случаи всевозможных полосчатых жил и любые совмещения метасоматических зон.

При исследовании метасоматической зональности необходимо выявить особенности перехода исходных пород в измененные, наличие, мощность зон и характер границ между ними. Следует учитывать возможные осложнения метасоматической зональности, связанные с неоднородной проницаемостью среды. Изучение состава и зональности гидротермально-метасоматических образований на дневной поверхности необходимо сочетать с наблюдениями в подземных горных выработках и описанием керна буровых скважин пересекающих изучаемые тела.

Все минералого-петрографические наблюдения фиксируются в виде зарисовок, детальных планов и разрезов, с указанием мест отбора образцов и проб. Особенности опробования полнопроявленных гидротермалитов рассмотрены в соответствующем разделе.

### **Площадные работы**

Полевые исследования гидротермально-метасоматических образований проводятся по нерегулярной сети с соблюдением средней плотности точек – одна на кв. см карты в масштабе съемки. Создание относительно равномерной

сети наблюдений – главное условие изучения гидротермально-метасоматических образований в полном объеме, включая слабопроявленные региональные изменения пород.

В то же время, в случае выявления на опорных участках преобладающего простираения гидротермальных тел рациональным будет разрежение расстояния между профилями, ориентированными поперек минерализованных структур, и сгущение интервала наблюдений на профилях.

Так как устойчивость выделяемых эпигенетических минеральных ассоциаций носит статистический характер, необходимо стремиться к тому, чтобы каждая метасоматическая зона была охарактеризована не менее, чем 10-15 точками наблюдений. На практике это выполняется не всегда в связи с прихотливыми очертаниями этих зон или слабой контрастностью слагающих их пород. Для максимально полного площадного изучения гидротермально-метасоматических образований рекомендуется учитывать следующие положения:

1. Выделяются основные рудные узлы, относительно которых намечается радиальная система профилей протяженностью 10-15 км с увеличением шага опробования в направлении от рудопроявлений. При проектировании системы наблюдений учитываются обнаженность территории и расположении горных выработок.

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

3. Опробование стратифицированных образований проводится вкрест простираения геологических контактов. При этом учитывается блоковое строение района и необходимость наблюдений каждого подразделения в основных тектонических блоках. В карбонатных и кремнистых толщах особое внимание обращается на терригенные и вулканогенные прослои, содержащие наиболее представительную минерализацию.

4. Производится сгущение сети опробования: а) в базальных толщах, особенно в конгломератах; б) в эндо- и экзоконтактовых зонах интрузий; в) в зонах разрывных тектонических деформаций; г) в пределах и в окрестностях метасоматических и жильных тел; д) в контурах малораспространенных на картируемой территории геологических подразделений. Сгущение сети опробования производится за счет ее разрежения на участках, не включающих указанные образования или закрытых рыхлыми отложениями.

При проведении крупномасштабного картирования территорий расстояние между точками наблюдения может достигать 0,5-2 км и более. Учитывая относительно небольшие размеры рудопроявлений, выявление которых является важнейшей задачей любой съемки, наблюдения ведутся непрерывно на протяжении всего маршрута. Точкой наблюдения при этом является участок выхода на поверхность коренных пород или элювиального развала, имеющий в поперечнике 15-20 м. На таком участке описывают вмещающие породы, выделяют, типизируют и описывают все

метасоматические и жильные образования. В описании обязательно отмечают интенсивность и зональность изменений, состав, структуру и степень выветрелости гидротермалитов, выделяется наиболее типичная горная порода. Работа на точке наблюдения включает также ее привязку и опробование.

### **Опробование**

Специализированное геологическое картирование сопровождается опробованием в точках наблюдения в наиболее глубоких картировочных скважинах и в пунктах детального изучения гидротермалитов. В каждой точке наблюдения отбирается от двух до пяти проб наиболее представительных видов вмещающих пород (эпипород), метасоматитов и жил. В комплекс опробования входят рядовые штуфные пробы весом 100-300 г на приближенно-количественный спектральный анализ, соответствующие этим пробам сколки для изготовления шлифов и образцы размером 3-5 см. Образец должен иметь не менее трех свежих поверхностей сколов, а штуфная проба не должна, по возможности, содержать следов выветривания. Однако, последнее не всегда возможно, учитывая нередкое сходство гипергенных и гидротермально-метасоматических изменений.

Для опробования участков, закрытых рыхлыми отложениями, а также с целью выявления вертикальной метасоматической зональности опробованию подвергается также керн буровых скважин. На участках расчлененного рельефа проектируются профили, включающие буровые скважины, для составления вертикальных разрезов, которые вскрывают метасоматические и жильные тела и позволяют коррелировать горизонтальную и вертикальную метасоматическую зональность. Комплекс опробования при этом аналогичен таковому на точках наблюдения.

При изучении конкретных метасоматических зон, жил и рудных тел на опорных участках опробование значительно усложняется. Рядовые штуфные пробы, сколки на шлифы и образцы отбираются чаще, обычно вкрест простирания исследуемых тел. Для детальных петрогеохимических исследований отбираются опорные пробы весом от 300 г до 1 кг (примерно 15-20 % всего количества проб). Для анализа гидротермальных породообразующих и рудных минералов отбираются минералогические пробы. В рудах и гидротермалитах, содержащих рудную минерализацию, отбираются сколки для изготовления аншлифов. Изучение истории формирования гидротермально-метасоматических и других тел сопровождается отбором образцов, иллюстрирующих выявленные взаимоотношения.

Опробование сопровождается полевой обработкой собранных материалов, которая включает: а) составление карт опробования с указанием точек наблюдения и номеров отобранных проб; б) отражение на детальных врезках, разрезах и абрисах мест взятия опорных петрогеохимических проб; в) ведение журнала опробования с указанием для каждой пробы названия

горной породы, геологического подразделения, к которому она принадлежит, а также возраста, степени выветренности породы и наличия в ней эпигенетической минерализации; г) обработка и разбраковка проб с целью их подготовки к аналитическим исследованиям: пробы делятся на рудные,, содержащие рудную минерализацию и пробы гидротермалитов и вмещающих пород.

Одним из основных источников информации при специализированном геологическом картировании является петрографический шлиф. Поэтому особое внимание при подготовке полевых материалов следует уделить соответствию отобранных проб и сколков для приготовления шлифов. Главным результатом картирования следует считать создание обширной шлифотеки по району – источнику минералого-петрографической информации о слабо – и сильнопроявленных гидротермальных изменениях исследуемых горных пород.

### **Камеральный период**

Все отобранные образцы, шлифы, аншлифы, минеральные пробы и аналитические порошки подвергаются всесторонним лабораторным исследованиям. Основными в камеральный период являются следующие виды работ: 1) петрографические исследования; 2) геохимические исследования; 3) картосоставительные работы.

### **Петрографические исследования**

Петрографические исследования включают описание шлифов, сначала валовое, затем групповое, по типам пород, а также изучение метасоматической (околожильной) зональности и построение метасоматических колонок.

Валовое описание проводится для каждого из 1-2 тыс. петрографических шлифов, характеризующих площадь одного планшета геологической карты. В описании должны содержаться следующие сведения: а) наименование исходной породы; б) полный список эпигенетических минералов с указанием их количественных соотношений; в) размеры кристаллических индивидов и выделений эпигенетических минералов ( $< 0,01$ ;  $0,01-0,1$ ;  $1-1,0$ ;  $> 1,0$  мм); г) формы выделения и тип петрографической структуры (автоморфный или псевдоморфный); д) содержание эпигенетических минералов в породе (0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 50, 50 – 80, 80 – 100 %).

В большинстве шлифов присутствует одна ассоциация эпигенетических минералов в количестве 5 –15 % от объема породы, поэтому в целом валовое описание проводится квалифицированным петрографом быстро и безошибочно. Однако, часть шлифов представляет группу сильно измененных пород, метасоматитов и руд, при описании которых требуется особое внимание и опыт. При описании таких шлифов указываются: соотношение вмещающей породы, метасоматических и жильных минеральных ассоциаций;

последовательность минералообразования и, по возможности, принадлежность ассоциаций к стадиям гидротермального процесса; приближенно-количественный минеральный состав ассоциаций. Все записи кодируются с целью создания банка данных и последующей их компьютерной обработки.

Для детальной петрографической характеристики всех типов пород, включая вмещающие, проводится групповое описание наиболее представительных шлифов. Количество шлифов колеблется от 5 – 10 до 15 – 20 штук и зависит от распространенности, изменчивости характеризуемой петрографической разности и ее метасоматического значения.

Групповое описание включает детальную кристаллооптическую характеристику минералов, данные об их содержаниях с точностью до 1 % и об их взаимоотношениях. При этом петрографические исследования сопровождаются изучением минеральных проб: отбираются монофракции, изучается типоморфизм и изменчивость породообразующих и аксессуарных минералов. Состав и методика минералогических работ зависят от объекта исследований. Особое внимание уделяется минералам-индикаторам рудных процессов.

В результате группового описания шлифов получают следующую дополнительную информацию: а) окончательная диагностика вмещающих пород и гидротермальных минеральных ассоциаций; б) схеме стадийности образования гидротермально-метасоматических образований; в) фациальная принадлежность минеральных ассоциаций; г) состав ореольной и рудной гидротермальной минерализации.

Результаты валовых и групповых описаний шлифов выносятся на карты фактических петрографических наблюдений, выполненных в виде кальк-накладок в масштабе геологической основы. На карты специальными знаками наносят: место отбора образца с указанием исходной породы и степени проявленности эпигенетической минерализации, состав, формы и размеры выделения, количественные соотношения и последовательность образования гидротермальных. Таким образом, карты фактических петрографических наблюдений содержат разнообразные первичные данные микроскопических исследований и служат надежной основой для изучения зональности и формационной принадлежности эпипород.

При изучении тел полнопроявленных гидротермалитов обязательно изучается их метасоматическая зональность. Для этого фиксируются реакции замещения минералов и их последовательность. На основании этих данных выявляется ряд дифференциальной подвижности компонентов и строится метасоматическая колонка.

Метасоматические колонки служат основой фациально-формационного расчленения метасоматитов, поэтому при их построении фиксируются все отклонения от типичной метасоматической зональности (расплывчатые границы зон, наличие минеральных гнезд и прожилков выполнения, неполное замещение субстрата, наложение минеральных ассоциаций поздних стадий и

т.п.) Желательно подтвердить тип метасоматического преобразования пород расчетами баланса вещества каким-либо из существующих методов.

### **Геохимические исследования**

Все собранные рядовые пробы подвергаются приближенно-количественному спектральному анализу, а опорные пробы – полному силикатному анализу на 12 окислов, пламенной фотометрии на щелочи, рентгено-флюоресцентному (Pb, Bi, Rb, Zr, Y и др.), атомно-абсорбционному, нейтронно-активационному и другим видам анализа. Обработка аналитических данных проводится компьютерным способом по следующему плану: 1) оценка основных параметров распределения петрогенных, редких и рудных элементов; 2) группирование проб на однородные совокупности по виду исходной породы, типу и степени ее изменения; 3) выделение ассоциаций химических элементов, связанных с синтетическими и основными эпигенетическими процессами; 4) выявление элементов-индикаторов рудного процесса; 5) анализ поведения химических элементов в гидротермальном процессе.

Первые два вида работ производятся по стандартным методикам. Главной задачей при этом является формирование геологически и статистически надежной геохимической выборки. Однако в нее включается 15-50 геохимических совокупностей различных типов вмещающих пород (около 20 %), метасоматитов (около 50 %), жил и руд (около 30 %), пробы из которых равномерно распределены в объеме изучаемого района.

В основе выделения ассоциаций химических элементов и их интерпретации лежит факторное разложение содержаний элементов как минимум на две составляющие - сингенетическую и эпигенетическую, обусловленную гидротермально-метасоматическими и рудными процессами. Обычно выделяются три главнейших фактора: породный (фактор кремнекислотности), рудный (фактор кислотности-щелочности) и фактор зональности.

Анализ поведения элементов в гидротермальном процессе производится как в конкретных зонально построенных телах гидротермалитов, так и при геохимическом сопоставлении однородных совокупностей. При этом сравниваются средние концентрации элементов или средние коэффициенты их накопления в породах различных зон или различных однородных совокупностей. Средние коэффициенты накопления рассчитываются путем деления средних содержаний элементов на кларковое значение для пород среднего состава. Наблюдение за поведением элементов в телах гидротермалитов позволяет, как правило, выявить определенную концентрационную зональность и наметить группы элементов-индикаторов и антагонистов оруденения.

## Картосоставительские работы

Результатом геологического картирования гидротермально-метасоматических образований является серия взаимосвязанных специализированных карт: структурная, карта фактических петрографических наблюдений, карта региональных метасоматических формаций, полиэлементная геохимическая.

*Структурная карта* составляется в случаях сложного структурно-геологического строения района, выраженного в интенсивном проявлении элементов разрывных и складчатых структур, которые осложняют размещение и взаимоотношения продуктов гидротермальной деятельности. Такая карта отражает результаты попутной структурной съемки, содержит помимо первичных данных, результаты тектонофизической интерпретации и сопровождается схемой структурной зональности или блокирования района.

*Карта региональных метасоматических формаций* составляется на основе карты фактических петрографических наблюдений. Элементарными подразделениями при этом являются зоны распространения статистически устойчивых минеральных ассоциаций, то есть сечения эпипородных метасоматических и жильных тел. Региональные метасоматические формации, представляющие собой устойчивые сочетания эпипородных тел, отображаются в виде сопряженных периферических и центральных зон, объединенных общим контуром.

Границы зон распространения статистически устойчивых гидротермальных минералов принципиально не зависят от геологических границ, но, учитывая большую дискретность системы опробования, следует проводить разграничение зон с использованием геологической основы. При этом результаты сравнения контуров геологических и метасоматических образований могут сводиться к следующим вариантам: а) полное совпадение; б) контур метасоматической зоны захватывает часть контура геологического подразделения; в) контур метасоматической зоны охватывает контуры нескольких геологических подразделений. В первом случае граница распространения эпигенетической минерализации фиксируются вдоль границы распространения исходных пород определенного вида. В двух последних случаях выявляются собственные границы эпипородных тел. Основой для этого служат границы карты фактических петрографических наблюдений, которые корректируются с учетом полевых макроскопических наблюдений, данных о распространении гидротермальной и рудной минерализации, а также различных косвенных признаков, – геофизических, геохимических, геоморфологических и геоботанических.

Следующий этап составления карты региональных метасоматических формаций – установление сопряженности выделенных метасоматических зон. Для этого рекомендуется использовать следующие основные признаки:



а) связанность в пространстве и времени с определенным геологическим явлением (геологические, радиологические и другие данные);

б) направленность щелочно-кислотной эволюции по пути возможного движения растворов (слабощелочные – кислотные фации метасоматоза);

в) регрессивная в термическом отношении стадийность минерало- и породообразования в рамках одной метасоматической формации;

г) наличие промежуточных и барьерных (березитовых) парагенезисов в области сочленения периферических и центральных зон;

д) взаимосвязь зон по косвенным признакам геологического, геофизического и другого содержания.

Таким образом, на карте выделяются границы региональных метасоматических формаций, охватывающие периферические и центральные эпипородные зоны и включающие тела полнопроявленных метасоматитов и жил: включая рудные образования. Предлагается закрашивать зоны развития темноцветных минеральных ассоциаций в зеленых тонах, зоны полевошпатовых ассоциаций – в лилово-синих тонах: зоны кварц-светлослюдистых ассоциаций – в желто-красно-коричневых тонах. Оттенками цветов показываются возрастные или фациальные разности гидротермально-метасоматических образований, а также степень замещения исходных пород. Карта региональных метасоматических формаций выполняется на черно-белом оттиске геологической карты.

*Полиэлементная геохимическая карта* строится на основе результатов геохимических исследований, позволяющих выделить генетические составляющие содержания элементов. Распределение устойчивых геохимических ассоциаций фиксируется на карте значениями соответствующих факторов, полученных при статистической обработке данных. При разработке легенды к карте геохимические ассоциации разделяются на три группы: 1 – рудная, связанная с зонами оруденения; 2 – нерудная, связанная с зонами до- и пострудного метасоматоза; 3 – фоновая, связанная с площадями неизмененных пород.

Данные, полученные в результате полевого и камерального изучения гидротермально-метасоматических образований, используются для решения следующих задач: 1) выявление метасоматической зональности; 2) выделение метасоматических формаций; 3) оценка перспектив региона на полезные ископаемые.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Осваивая курс специального геологического картирования, студент закрепляет теоретические знания, полученные на лекциях по структурной геологии, геокартированию, поисковой геохимии и минералогии, петрографии и петрологии. Важным результатом курса спецгеокартирования является освоение методики геологосъемочных работ в районах сложного

геологического строения. Лекции по настоящему курсу помогают студенту освоить специальные методы геологической съемки, подготовиться к самостоятельному проведению крупномасштабной геологической съемки интрузивных и гидротермально-метасоматических образований и камеральной обработки результатов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература:

1. *Алексеев В.И.* Специальное геологическое картирование: Учебное пособие. СПб., 2002. 101 с.
2. *Марин Ю. Б.* Основы формационного анализа. СПб: Изд-во СПГТИ, 2004. 138 с.
3. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. (Роскомнедра). М., 2008. 205 с.
4. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 197 с.
5. Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий и выделении петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий // Ред. Ю.Б.Марин. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. 80 с.

### Дополнительная литература:

6. *Бурдэ А.И.* Картографический метод исследования при региональных геологических работах. Л.: Недра, 1990. 251 с.
7. *Жабин А.Г.* Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979. 276 с.
8. *Жамойда А.И.* Основные тенденции развития и проблемы мировой геологической картографии в последнюю треть XX века // Отчетственная геология. 2008. № 2. С .28-35.
9. Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной геологической карты СССР 1:50 000 (1:25 000). (Мингео СССР). Л., 1986, 243 с.
10. Камеральная обработка материалов геолого-съемочных работ масштаба 1:200 000. Методические рекомендации. Вып. 2. /А.И. Бурдэ, В.С. Антипов, В.И. Бергер и др. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999, 384 с.
11. *Марин Ю.Б.* Метасоматические формации и их рудоносность. Учебное пособие. Л.: ЛГИ, 1989. 96 с.
12. Метасоматизм и метасоматические породы / Ред. В.А.Жариков, В.Л.Русинов. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
13. Методика изучения гидротермально-метасоматические образования. / Е.В.Плющев, О.П.Ушаков, В.В.Шатов, Г.М.Беляев Л.: Недра, 1981. 262 с.
14. Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50 000. Вып. 3. Геологическая съемка интрузивных образований. Л.: Недра, 1972. 320 с.
15. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 1 000 000 (третьего поколения). (Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ»). М.–СПб., 2008. 174 с.
16. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород: Учебник / Под ред. В.С.Попова и О.А.Богатикова. М.: Логос, 2001. 768 с.
17. Петрография магматических, метаморфических и осадочных горных пород. Методические указания к лабораторным работам. Сост.: В.И.Алексеев, В.Г.Лазаренков. СПб, 2002. 36 с.
18. *Плющев Е.В., Шатов В.В., Беляев Г.М.* Методические рекомендации по геолого-геохимическому изучению гидротермально-метасоматических образований при ГСР-50 с общими поисками. СПб., 1992. 64 с.

19. Полевые исследования при геологосъемочных работах масштаба 1:200 000. Методические рекомендации. Вып. 3/ В.С. Антипов, В.И. Бергер, А.И. Бурдэ и др., СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 112 с.

20. *Половинкина Ю.Ир.* Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. Ч.1.; Ч. 2, Т. 2. М.: Недра, 1966. 240 с.; 272 с.

21. Применение петрологических методов при поисках и прогнозировании эндогенного олово (или молибден)- вольфрамового оруденения: Методические рекомендации / Бузкова Н.Г., Решетова С.А. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995, 54 с.

22. Три века геологической картографии России / А.И. Бурдэ, С.И.Стрельников, Н.В.Межеловский и др. М.–СПб., 2000. 439 с.

23. Временные требования к организации, проведению и конечным результатам геологосъемочных работ, завершающихся составлением Госгеолкарты-200 (второе издание). (МПР РФ). М., 1999. 160 с.

## ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

### БИБЛИОТЕКИ

Российская государственная библиотека	<a href="http://www.rsl.ru">www.rsl.ru</a>	
Российская национальная библиотека	<a href="http://www.nlr.ru">www.nlr.ru</a>	
Библиотека Академии Наук	<a href="http://ww.rasl.ru">ww.rasl.ru</a>	
Библиотека РАН по естественным наукам	<a href="http://www.benran.ru">www.benran.ru</a>	
Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ)	<a href="http://ww.viniti.ru">ww.viniti.ru</a>	
Главная библиотека СПГГИ(ТУ)		<a href="http://w.spmi.ru/skeleton/1/61">w.spmi.ru/skeleton/1/61</a>
Государственная публичная научно-техническая библиотека	<a href="http://ww.gpntb.ru">ww.gpntb.ru</a>	
Научная библиотека ГРУ нефти и газа	<a href="http://www.gubkin.ru">www.gubkin.ru</a>	
Научная библиотека Санкт-Петербургского Государственного университета	<a href="http://www.lib.pu.ru">www.lib.pu.ru</a>	
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">elibrary.ru</a>	

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНТЕРНЕТ-САЙТЫ

Все о геологии	<a href="http://geo.web.ru">geo.web.ru</a>
Геоинформмарк	<a href="http://www.geoinform.ru">www.geoinform.ru</a>
Earth-Pages	<a href="http://www.Earth-Pages.com">www.Earth-Pages.com</a>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	2
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	4
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	4
Интрузивная фаза .....	4
Интрузивная фация .....	5
Интрузивные контакты .....	6
ОРГАНИЗАЦИЯ КАРТИРОВАНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	7
Предполевой период .....	7
Дешифрирование аэрофотоматериалов .....	8
Полевой период .....	9
Камеральный период.....	21
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	30
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	31
Гидротермально-метасоматические образования .....	32
Стадийность гидротермального процесса .....	32
Метасоматическая зональность .....	33
Метасоматическая формация .....	35
Классификация гидротермально-метасоматических пород.....	36
ОРГАНИЗАЦИЯ КАРТИРОВАНИЯ .....	39
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ .....	39
Предполевой период .....	39
Полевой период .....	41
Камеральный период.....	45
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	51
ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ .....	52