



**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии**

Допущены  
к проведению занятий в 2016-2017 уч.году  
Заведующий кафедрой  
профессор

«01» сентября 2016 г.

 М.А.Иванов

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ**  
для проведения лабораторных занятий по учебной дисциплине

**«СПЕЦИАЛЬНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ»**

**Специальность (направление подготовки): 21.05.02 «Прикладная геология»**

**Специализация (профиль): Прикладная геохимия, минералогия, петрология**

**Разработали: проф. В.И. Алексеев**

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры  
Протокол № 1 от 29 августа 2016 г.*

## ВВЕДЕНИЕ

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.

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 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 расширением металлогенических перспектив территорий распространения магматических и метасоматических образований. 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.

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. Именно в таких районах вследствие генетической связи оруденения с интрузиями и метасоматитами сосредоточены месторождения 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 изучение современных методов картирования интрузивных и гидротермально-метасоматических образований.

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.

В результате освоения дисциплины «Специальное геологическое картирование» студент сможет:

- **знать** современное состояние методологии картирования и картографирования интрузивных и гидротермально-метасоматических образований; теоретические основы, принципы и критерии выделения интрузивных фаций, фаз и комплексов; теоретические основы, принципы и критерии выделения метасоматических фаций и формаций; основные принципы и современные методы специального геологического картирования;

- **уметь** применять современные петрографические, минералогические и геохимические методы картирования; выбирать методы и обосновывать рациональный комплекс исследований при картировании площадей развития интрузивных образований различной формационной принадлежности; выбирать методы и обосновывать рациональный комплекс исследований при картировании площадей развития гидротермально-метасоматических образований различной формационной принадлежности; интерпретировать результаты специального геокартирования.

Лабораторные занятия практически закрепляют материал лекций, развивают навыки изучения горных пород в штуфах и под микроскопом, чтения геологических карт районов развития интрузивных и метасоматических образований, а также знакомят со способами интерпретации данных специального геокартирования.

Приступать к выполнению лабораторных работ по специальному геокартированию следует после изучения основ минералогии, петрографии, структурной, исторической и региональной геологии, основ учения о полезных ископаемых, а также при условии освоения принципов и способов геокартирования земной поверхности.

Лабораторный практикум состоит из четырех тем, посвященных вопросам изучения и классификации интрузивных и метасоматических тел (тема 1, 3), а также интерпретации результатов специального геокартирования (темы 2, 4). По каждой теме предусматривается проведение двух лабораторных работ. Текст данных методических указаний по каждой работе включает введение, содержащее краткие теоретические основы решения задачи, собственно методическое руководство к работе и пример оформления полученных результатов.

В связи со спецификой курса «Специальное геологическое картирование», заключающейся в освоении методологии картирования крупных тел земной коры, лабораторные занятия носят в значительной мере демонстрационный характер. Студенты под руководством преподавателя знакомятся с геологическими и специализированными картами, коллекциями штуфов и шлифов горных пород. Самостоятельная работа студентов моделирует некоторые из видов работ по полевой документации горных пород и камеральной обработке данных картирования интрузивных и метасоматических тел. При этом используются атлас учебных геологических карт, опубликованные карты различных регионов России и ближнего зарубежья, как в виде твёрдых копий, так и в электронном виде. Для иллюстрации отдельных положений применяются фондовые графические материалы, полученные преподавателями и сотрудниками кафедры МКП при проведении полевых научно-исследовательских работ. Исходным материалом для занятий служат также эталонные коллекции горных пород и руд, имеющиеся на кафедре и в Горном музее.

# 1. КАРТИРОВАНИЕ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Повышенная детальность изучения территорий при проведении крупномасштабной геологической съемки вызывает необходимость углубленно решать вопросы внутреннего строения и состава интрузивных образований. Накопленный к настоящему времени опыт свидетельствует о значительной сложности их состава, многофазном, зачастую полиформационном строении интрузивных тел. Уже в период полевого картирования интрузивных тел геолог стремится объединить их в естественные геолого-генетические совокупности, отвечающие единому магматическому процессу и определенному этапу геологического развития территории. Это позволяет систематизировать изучение интрузивных образований, восстанавливать историю их формирования и оценивать прогнозные перспективы районов на магматические и гидротермальные полезные ископаемые. В качестве таких геолого-генетических подразделений принято выделять *интрузивные комплексы* – совокупности интрузивных фаз, проявляющиеся в фиксированном геологическом пространстве и времени и упорядоченные в отношении изменения состава и строения пород, слагающих эти фазы.

Наиболее важными видами работ при картировании интрузий являются:

- изучение структур и текстур интрузивных пород;
- прослеживание и интерпретация интрузивных контактов;
- выделение интрузивных фаз и фаций;
- выделение интрузивного комплекса;
- описание интрузивного комплекса.

## Лабораторная работа № 1

### Структуры и текстуры интрузивных пород

Как известно, глубинность и скорость кристаллизации магматического расплава отражаются в строении формирующейся при этом горной породы. Особенно показательными структурными особенностями магматической породы являются среднее значение и колебание размера зерен породообразующих минералов.

*Структуры* магматических пород по абсолютному размеру зерен делят на микрозернистые (средний размер зерен менее 0,1 мм), мелкозернистые (0,1-1 мм), среднезернистые (1-3 мм), крупнозернистые (3-5 мм) и гигантозернистые (более 5 мм). По относительным размерам зерен главного породообразующего минерала различают равномернозернистую, порфировидную и порфировую структуры.

Глубинным, собственно интрузивным породам, – габбро, диоритам, сиенитам, свойственны равномернозернистые средне- и крупнозернистые структуры, отражающие длительную кристаллизацию исходного расплава с медленным понижением его температуры. Но встречаются исключения из этого правила: в породах апикальных выступов, апофиз и эндоконтактной зоны плутонов нередко отмечаются существенное снижение размера минеральных зерен и появление порфировидных структур; кроме того, некоторые типично интрузивные породы, в частности гранитоиды, приобретают порфировидное

строение вследствие собирательной перекристаллизации; при этом основная масса сохраняет средне-крупнозернистое строение.

Малоглубинные (гипабиссальные) породы, – гранит-порфиры, сиенит-порфиры, диорит-порфириты, обычно имеют порфировидную структуру с мелкозернистой основной массой, что связано с ускоренным охлаждением расплава и его кристаллизацией в состоянии метастабильного пересыщения. Из расплавов пониженной вязкости, – базальтового, гранитового с летучими компонентами, на малых глубинах формируются равномернозернистые мелкозернистые породы (диабазы, аплиты), а при насыщении расплава минерализаторами – гигантозернистые породы (пегматиты). В маломощных интрузивных жилах и субвулканических телах встречаются также породы с порфировой структурой, более свойственной эффузивам.

*Текстуры* интрузивных пород делятся на однородные и неоднородные. Наиболее распространена однородная (массивная) текстура, характеризующаяся равномерным и неориентированным расположением минеральных компонентов в пространстве. Такая текстура свидетельствует о выдержанности условий кристаллизации в пределах интрузии.

Среди неоднородных текстур выделяют шлировую, полосчатую, шаровую, директивную и миаролитовую. Шлировая (такситовая) текстура определяется наличием в породе блоков, отличающихся по составу и (или) структуре, – шлиров. Шлиры могут иметь различные размеры, от первых сантиметров до нескольких метров. Форма шлиров бывает неправильной, изометрической или линзовидной, а распределение в интрузии – незакономерным или закономерным. Особой формой шлиров являются ксенолиты – включения в интрузивной породе обломков вмещающих или более ранних интрузивных пород. Очертания их, как правило, угловатые, границы резкие, но могут быть и размытые вследствие частичной ассимиляции.

Полосчатая и шаровая текстуры определяются чередованием в породе соответственно плоских и концентрических слоев различного состава и являются, в сущности, крайними проявлениями шлировой текстуры. Они особенно характерны для гипербазитов и габброидов, хотя встречаются и в кислых магматитах. Директивная (направленная) текстура характеризуется ориентированным, линейно- или плоско-параллельным расположением слагающих породу зерен минералов, имеющих вытянутые или уплощенные формы. Директивная текстура может сочетаться с полосчатой (гнейсовидной) и со шлировой (параллельно-шлировой) текстурами. Миаролитовая текстура определяется наличием в интрузивной породе аплитовых и пегматоидных шлиров, в центре которых наличествует полость, обрамленная жеодой породообразующих минералов. Размеры миарол составляют первые сантиметры и десятки сантиметров. Подобные текстуры характерны для гранитоидов и фельдшпатоидных сиенитов.

Шлировые текстуры, особенно параллельно-шлировая и ксенолитовая обычно встречаются в эндоконтактных зонах плутонов. Линзовидные шлиры часто используют для изучения прототектоники жидкой фазы интрузий. Полосчатая и шаровая текстуры образуются в результате ритмичной кристаллизации расплавов при повторном пересыщении некоторыми компонентами. Полосчатая текстура может также являться следствием

дифференциации расплава под действием силы тяжести и движения магмы. Направленное перемещение магматического расплава отражается в формировании директивных текстур. Элементы прототектоники, используемые для изучения залегания, формы и истории формирования интрузий, – это ничто иное, как зафиксированные в текстуре породы линии и слои течения кристаллизовавшейся магмы. Причиной директивности может стать кристаллизация магмы под воздействием стресса; в древних интрузиях ориентировка нередко вторична и отражает позднюю перекристаллизацию пород. Миаролитовая текстура генетически связана с кристаллизацией расплавов, пересыщенных летучими компонентами. Отметим также, что интенсивное проявление шлировых, директивных и миаролитовых текстур возможно лишь в гипабиссальных породах и интрузивных породах, образованных на умеренных глубинах (до 10 км).

**Лабораторное задание к работе № 1** представляет собой описание и определение интрузивной породы по образцу и шлифу. При описании особое внимание следует уделить структуре и текстуре горной породы, а именно:

- детально описать и зарисовать все особенности строения изучаемого агрегата, как в образце, так и в шлифе;
- наиболее полно назвать структуру и текстуру породы;
- определить условия и причины формирования наблюдаемых структур и текстур.

Описание проводится в соответствии с существующими правилами. При характеристике структуры обязательно указывают для каждого пороодообразующего минерала: 1) среднее значение и разброс значений размера зерен; 2) степень идиоморфизма; 3) облик и степень асимметрии сечений. Описывая текстуру отмечают: 1) распределение зерен пороодообразующих минералов; 2) ориентировку зерен; 3) наличие шлиров, ксенолитов; 4) наличие пор.

## **Лабораторная работа № 2**

### **Контакты интрузивных тел**

Исследование контактов интрузивных тел включает в себя изучение контактов интрузивного массива с вмещающими толщами (внешние контакты) и контактов интрузивных тел, слагающих данный массив (внутренние контакты).

Изучение *внешних контактов* интрузивного массива необходимо для определения его морфологии, возраста и условий образования. Контактная поверхность плутонов часто контролирует размещение метасоматитов и гидротермального оруденения. Помимо картирования внешних границ массива на уровне эрозионного среза, следует уделять внимание определению залегания его контактов на глубине и оценке взаимоотношений с вмещающими толщами.

Залегание контактовой поверхности интрузии изучают с помощью прямых наблюдений в горных выработках и скважинах, а также методами горной геометрии – с помощью анализа конфигурации границы в условиях расчлененного рельефа. О положении внешних контактов плутона можно косвенно судить по ширине зоны экзоконтактовых метаморфических изменений,

по залеганию линий и слоев течения, ксенолитов и контракционных трещин, а также по особенностям приконтактных геофизических аномалий.

По характеру взаимоотношений интрузивного массива с вмещающими толщами различают активные, трансгрессивные и тектонические контакты. Для активных ("горячих" или собственно интрузивных) контактов характерны пересечения текстурных элементов и границ вмещающих пород, наличие в последних апофиз интрузии и контактово-термальных изменений, присутствие в эндоконтактной зоне массива ксенолитов боковых пород, признаков закалывания и гибридизма.

Трансгрессивные («холодные») контакты фиксируют по налеганию на размытую поверхность интрузива более молодых стратифицированных образований, отсутствию в последних признаков контактового метаморфизма и наличию в их основании так называемых базальных горизонтов, сложенных обломками подстилающих интрузивных пород.

Тектонические контакты имеют прямолинейный или ломаный характер, сопровождаются смещениями границ и нарушением текстур пород как в экзо-, так и в эндоконтактной зоне, сопряжены с зонами расланцевания, брекчирования, милонитизации и динамической перекристаллизации контактирующих пород.

Прослеживание и интерпретация *внутренних контактов* между интрузиями, слагающими массив, являются важной задачей специального геокартирования. По степени резкости и характеру приконтактных явлений выделяют контакты:

1) очень резкие (собственно интрузивные), сопровождаемые зонами закалки более поздних пород;

2) отчетливые, достаточно резкие, но без зон закалывания – двух подтипов: а) с явными признаками приконтактных изменений и б) без них;

3) нерезкие («смазанные», «вялые», «плывущие»).

Контакты первого типа достаточно надежно свидетельствуют о резкой разнице температур внедренного расплава и вмещающих пород, то есть о существовании значительного различия в возрасте контактирующих интрузивных тел и их принадлежности к разным интрузивным комплексам или к фазам одного комплекса, не являющимся соседними в «фазовой цепочке».

Интрузивные контакты второго типа весьма распространены, но недостаточно информативны: они встречаются в фазах как одного, так и разных комплексов. Наличие приконтактных изменений в составе пород более характерно для контактов фаз разных интрузивных комплексов. При этом изменения чаще наблюдаются со стороны более молодых пород и заключаются обычно в их лейкократизации, развитии пегматоидов, но способны проявиться и во вмещающих породах в виде микроклинизации, или базификации (биотитизация, амфиболизация и т.п.).

Появление контактов третьего типа обусловлено близостью состава и температур вмещающей и внедренной пород и, следовательно, фиксирует соприкосновение интрузивных фаз одного комплекса. Однако следует иметь в виду, что нечеткий, «размытый» контакт может образоваться также при внедрении перегретой, химически агрессивной магмы в холодные древние толщи; в таких случаях могут развиваться сильные метасоматические изменения, перекристаллизация и даже плавление вмещающих пород.

**Лабораторное задание к работе № 2** выдается после демонстрации студентам типов интрузивных контактов на геологических картах и в петрографических штуфах. Задание включает в себя:

- описание контактовой зоны интрузивного массива по учебной геологической карте и характеристику взаимоотношений массива с вмещающими породами;

- описание и интерпретацию контакта интрузивных тел по штуфу.

При построении геологического разреза используются общепринятые правила.

### **Лабораторная работа № 3** **Интрузивные фазы и фации**

Интрузивные массивы редко бывают сложены какой-либо одной горной породой. Обычно в их строении принимают участие интрузивные фазы. *Интрузивная фаза* – это внутренне однородное тело (или их совокупность), сложенное однотипными или близкими породами устойчивого (или плавно меняющегося) состава и структурно-текстурного облика и отделённое от других фазовых тел поверхностями раздела (границами), фиксируемыми при полевых визуальных наблюдениях. Причина образования интрузивных фаз заключается в пульсирующем характере развития питающего магматического очага и поступления расплава в верхние горизонты земной коры.

Каждая фаза может быть представлена одним телом или группой синхронно образованных тел, которые сосредоточены в одном интрузивном массиве или распределены в нескольких регионально сближенных массивах.

*Критериями выделения интрузивной фазы являются:*

- \* резкие геологические границы интрузивного тела;
- \* близость количественного минерального состава слагающих тело пород;
- \* сходство петрографических структур и текстур пород;
- \* сходство петрохимического и геохимического состава пород;
- \* общность типоморфных особенностей породообразующих и аксессуарных минералов этих пород;
- \* близость петрофизических свойств пород и геофизических полей интрузии;
- \* одинаковые возрастны соотношения интрузий с автономными дайковыми комплексами, пегматитами и гидротермальными жилами.

Наиболее важное и универсальное значение имеют первые три критерия, которые используются на всех этапах изучения интрузивных массивов, начиная с полевого и заканчивая этапом интерпретации данных картирования. Резкость геологических границ выражается в возможности иллюстрировать ее одним петрографическим штуфом. Однотипность количественного минерального состава фазы позволяет объединять породы одной фазы в ранге одного петрографического вида. Однотипность петрографических структур и текстур является основой единого и неповторимого физиографического облика пород каждой фазы.

Название интрузивным фазам принято давать в соответствии с очередностью их образования (первая, вторая, третья и т.д.) либо по вкладу в общий объем интрузивного комплекса (главная, дополнительная, жильная).



Интрузивная фаза не всегда является совершенно однородной в петрографическом отношении. Состав и строение пород в пределах единого интрузивного тела может плавно изменяться на расстояниях, соизмеримых с величиной самого тела, отражая пространственную изменчивость состава расплава и термодинамических условий его кристаллизации. Выделенные при этом разновидности интрузивных пород данной фазы принято именовать *интрузивными фациями*.

*К критериям выделения интрузивной фации относят:*

- \* постепенное изменение состава пород (цветного индекса, состава и соотношения полевых шпатов, феррических минералов);
- \* постепенное изменение структуры пород (абсолютного и относительного размера минеральных зерен, количества вкрапленников);
- \* постепенное изменение текстуры пород (появление шпиров, полосчатости, ксенолитов и директивных элементов).

Постепенное изменение параметров пород фазы означает отсутствие резких геологических границ между фаціальными разностями и необходимость их иллюстрации серией штуфов, отобранных в разных частях интрузивного тела.

**Лабораторное задание к работе № 3.** На лабораторном занятии студентам демонстрируются геологические карты, иллюстрирующие различные критерии выделения интрузивных фаз и фаций. Задание к работе № 3 – это геологическая карта интрузивного массива масштаба от 1 : 10 000 до 1 : 200 000, на которой необходимо:

- выделить или найти выделенные согласно легенде интрузивные фазы и фации;
- построить геологический разрез массива;
- составить объяснительную записку к разрезу.

Выбор линии и глубины разреза производится так, чтобы охарактеризовать наиболее полно особенности строения изучаемого интрузивного массива. Правила построения геологического разреза общеприняты. В объяснительной записке студент описывает особенности фациально-фазового строения массива.

#### **Лабораторная работа № 4**

##### **Интрузивные комплексы**

Естественные ограничения магматического процесса во времени и пространстве, а также его эволюционный характер определяют образование *интрузивных комплексов* – совокупных последовательностей нескольких интрузивных фаз, проявляющихся в фиксированном геологическом пространстве и времени и упорядоченных в отношении изменения состава и физиографического облика пород, слагающих эти фазы. Как продукт конкретного магматического процесса интрузивный комплекс объединяет сходные по составу и геологической позиции тела. В связи с этим к критериям выделения комплексов относят признаки сходства интрузивных тел:

- \* по минеральному составу и структурно-текстурным особенностям слагающих пород;
- \* по морфологии и структурной позиции тел;
- \* по типоморфизму породообразующих и акцессорных минералов слагающих пород;
- \* по геохимическим особенностям;
- \* по петрофизическим свойствам пород и характеру геофизических полей.

Так как интрузивный процесс имеет эволюционный, направленный характер, то интрузивный комплекс объединяет фазы, упорядоченные во времени и пространстве как по составу, так и по строению. Поэтому к критериям объединения интрузивных фаз в комплекс относят такие признаки их изменения от ранних к поздним как:

- \* уменьшение зернистости пород;
- \* увеличение дисперсии размера зерен породообразующих минералов;
- \* гомодромное изменение состава пород;
- \* уменьшение объема фаз;
- \* увеличение количества тел, соответствующих каждой фазе.

Интрузивный комплекс, будучи продуктом ограниченного по масштабам магматического процесса, обладает четкими границами в пространстве и во времени. Следовательно, важными критериями объединения интрузивных фаз в комплексы являются:

- \* интрузивные («горячие») и трансгрессивные («холодные») контакты фаз со стратифицированными образованиями;
- \* одинаковые взаимоотношения фаз с автономными дайковыми комплексами и системами гидротермальных жил;
- \* близость абсолютного возраста фаз;
- \* приуроченность интрузивных массивов к единой структурно-формационной зоне;
- \* сопряженность интрузий в одних пликативных и дизъюнктивных структурах.

После выделения интрузивного комплекса ему присваивается название, которое состоит из двух слов, фиксирующих географическую распространенность, состав и возраст изученных образований. Первое слово образуют от географических названий пунктов (хребтов, рек, островов и т.п.), вблизи которых находится *плутонотип* – типовой массив или группа массивов комплекса, имеющих наиболее представительные вещественный состав и строение, наиболее полный набор фаз и фаций и документированный геологический возраст. Второе слово включает название одной–двух ведущих или крайних в ряду дифференциатов пород. Полное название интрузивного комплекса звучит так: улутауский перидотит-пироксенитовый комплекс; каркаралинский гранит-лейкогранитовый комплекс.

**Лабораторное задание к работе № 4** заключается в описании интрузивного комплекса с использованием средне- или крупномасштабной геологической карты. Задание включает в себя:

- выделение интрузивного комплекса;
- составление общей характеристики комплекса;
- описание плутонотипа – наиболее представительного массива комплекса.

Описание интрузивного комплекса приводится в соответствии с нормативными положениями и в обязательном порядке включает:

а) возрастное положение: возраст вмещающих и перекрывающих толщ; степень метаморфизма вмещающих пород; взаимоотношение с дайковыми комплексами; геохронологические данные;

б) петрографические особенности: главные виды пород; однородность состава; наличие ксенолитов, специфических структур и текстур;

в) распространенность: географическое размещение комплекса; приуроченность к определенным структурно-формационным зонам и структурным этажам;

г) форма интрузивных массивов и их структурное положение: морфологический тип (батолит, силл и т.п.); рельеф кровли и залегание контактов; приуроченность к разрывным нарушениям; степень конформности;

д) полезные ископаемые: виды полезных ископаемых, их геолого-структурная позиция и масштабы проявлений; характер связи с комплексом (генетическая, парагенетическая, пространственная).

Описание плутонотипа должно содержать сведения о следующих его параметрах:

а) вмещающие породы – возраст, геологические структуры;

б) контакты – тип, морфология, залегание, рельеф кровли, эндоконтактовый метаморфизм;

в) интрузивные фазы – количество, состав, размеры, размещение;

- г) интрузивные фации – состав, размеры, размещение;
- д) элементы прототектоники – трещины отдельности, слои и линии течения;
- е) постмагматические изменения – время образования, состав, пространственное замещение, приуроченность к определенным фазам, фациям, разрывным структурам;
- ж) постинтрузивные деформации – тип (складчатые, глыбовые), изменение морфологии и залегания, смещение по разломам.

## 2. КАРТИРОВАНИЕ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Гидротермально-метасоматические тела, с одной стороны, теснейшим образом связаны с полезными ископаемыми и являются великолепным поисковым признаком оруденения, а с другой – представляют собой весьма сложный объект исследования в силу изменчивости своего состава и строения, зональности и зависимости от состава исходных пород. Особенно большие сложности вызывает исследование широко распространённых, но слабо проявленных метасоматических изменений – региональных метасоматитов. В связи с этим в данном курсе главное внимание уделено наблюдению над сильно проявленными изменениями горных пород – локальными метасоматитами.

Одним из важнейших вопросов картирования гидротермально-метасоматических образований является установление последовательности их образования. Гидротермальная деятельность в пределах подвижных областей земной коры развивается прерывисто, по стадиям, разделённым периодами тектонических движений. Выделение *стадий минерализации* – периодов времени функционирования единого гидротермального потока и непрерывного образования родственных минеральных ассоциаций – основано на полевом и лабораторном исследовании последовательности образования минеральных индивидов и агрегатов. В полевой период оценивают взаимоотношения крупных тел гидротермалитов – жил, зон, залежей. В камеральный период изучают состав описанных тел, оценивают последовательность минералообразования внутри тел путем микроскопического изучения штуфов, шлифов и аншлифов гидротермальных пород. В результате разрабатывают схему стадийности минералообразования, которая ставит в соответствие каждой стадии группу гидротермально-жильных и метасоматических пород, слагающих одно или серию гидротермальных тел (штокверк прожилков, систему линейных жил, метасоматическую залежь и т.п.).

Итогом интерпретации данных геокартирования интрузивных и метасоматических образований являются выводы о минерагенических перспективах исследованной территории. Направленность метасоматизма такова, что ведет в конечном итоге к гидротермальному рудообразованию – концентрированному отложению промышленно важных минералов. Задача геолога-съёмщика состоит не только в построении геологических карт, но и в анализе последних. Тщательное изучение геологических карт районов с интрузивными и метасоматическими образованиями позволяет выявить характер эволюции и стадийность магматизма и метасоматизма, определить место в этой стадийности оруденения, а также условия рудоотложения. Восстановив историю и движущие силы гидротермально-рудного минералообразования в районе картирования, можно расшифровать геологическое строение рудного района и эффективно оценить его промышленные перспективы.

Важнейшее значение при картировании гидротермально-метасоматических тел имеют:

- изучение и интерпретация минерального состава, структур и текстур метасоматических пород;
- выявление и интерпретация метасоматической зональности;

- выделение стадий гидротермального процесса.

## Лабораторная работа № 5

### Структуры и текстуры метасоматических пород

Условия гидротермального минералообразования, прежде всего температура и степень химической неравновесности гидротерм с вмещающими породами, отчетливо отражаются в строении новообразованных пород, особенно показательны зернистость и наличие псевдоморфоз.

*Структуры* гидротермалитов делятся по размеру зерен главных породообразующих минералов на скрытокристаллическую (менее 0,01 мм), микрокристаллическую (0,01-0,1 мм), среднекристаллическую (0,1-1 мм) и крупнокристаллическую (более 1 мм).

Размер зерен зависит, прежде всего, от температуры минералообразования, что позволяет разделять гидротермалиты на три ряда:

- I. – низкотемпературные (50-200 °С) скрытокристаллические;
- II. – среднетемпературные (200-400 °С) мелко- и среднекристаллические;
- III. – высокотемпературные (400-900 °С) средне- и крупнокристаллические.

Отчасти размер зерен отражает и длительность воздействия гидротерм, связанную с глубиной минералообразования. Как правило, породы I и II рядов формируются на малых и предельно малых глубинах (0-3 км), а породы III ряда – на умеренных глубинах (3-6 км).

Характерным признаком метасоматитов является псевдоморфное замещение одних минералов другими – псевдоморфозы роговой обманки по пироксену, пирита по магнетиту, эпидота по плагиоклазу, и др. При этом псевдоморфозы могут быть: а) гомоосевыми (альбит по олигоклазу, хлорит по биотиту) и агрегатными (натролит по нефелину, тальк по ортопироксену); б) мономинеральными (актинолит по роговой обманке, серицит по плагиоклазу) и полиминеральными (хлорит, кальцит и титанит по роговой обманке, хризотил и магнетит по оливину). Псевдоморфозы являются неотъемлемым элементом присущих метасоматитам реликтовых структур, таких как бластогранитовая, бластопорфировая и т.п.

Реликтовые структуры более распространены в низко- и среднетемпературных метасоматитах (березитах, пропилитах, аргиллизитах), сочетаясь с радиально-лучистой и концентрически-зональной структурами. В высокотемпературных метасоматитах преобладают бластовые структуры с элементами реликтовых.

Благодаря сохранению минеральных реликтов первичной породы, в метасоматитах часто прослеживаются реликтовые *текстуры* первичных пород: слоистая, шлировая, гнейсовидная и др. Малоуглубинным и низкотемпературным метасоматитам зачастую свойственны элементы прожилково-вкрапленной, друзитовой и брекчиевой текстур. Структуры жильных гидротермальных пород, формирующихся в открытых полостях, обычно идио- или гипидиоморфнозернистые, а текстуры – полосчатые и массивные.

По компактности текстуры метасоматитов плотные. Некоторые метасоматиты, равновесные с кислыми растворами (грейзены, вторичные кварциты), имеют пористую текстуру, содержат жеоды кварца, топаза, слюды,

флюорита. Обычным текстурным элементом метасоматитов являются прожилки, образованные сингенетическими и поздними агрегатами выполнения или замещения.

**Лабораторное задание к работе № 5** состоит в описании образца и шлифа жильной или метасоматической породы, а также в интерпретации ее структурно-текстурных особенностей. При выполнении задания следует:

- детально описать и зарисовать все особенности строения предложенного агрегата;
- диагностировать структуру и текстуру изучаемой горной породы;
- определить условия и причины формирования наблюдаемых структур и текстур, по-возможности, установить исходную породу.

Описание породы проводят в соответствии с существующими правилами. При характеристике структуры обязательно определяют: 1) размер зерен породообразующих минералов; 2) морфологию и идиоморфизм зерен; 3) наличие и тип псевдоморфоз; 4) наличие и морфологию реликтовых минералов; 5) реликты структуры исходной породы. Описывая текстуру, отмечают: 1) компактность агрегата; 2) распределение и ориентировку гидротермальных и первичных минералов; 3) реликты первичной текстуры; 4) наличие и строение прожилков или иных минеральных обособлений.

## **Лабораторная работа № 6**

### **Метасоматическая колонка**

Важнейшей особенностью метасоматических тел является их зональное строение, обусловленное дифференциальной подвижностью химических элементов в системе раствор – порода. При просачивании гидротермального раствора через однородную породу всегда образуется колонка резко ограниченных зон, сложенных метасоматическими минералами, которая получила название *метасоматической колонки*.

Метасоматическая колонка имеет следующие особенности:

\* зоны колонки возникают одновременно и по мере просачивания раствора увеличиваются в мощности: внутренние (тыловые) зоны расширяются за счет внешних;

\* каждая зона колонки имеет постоянный минеральный состав и резкие границы со смежными зонами, на которых только и происходят замещения минералов минералами другого состава;

\* от внешней зоны к тыловой происходит уменьшение числа метасоматических минералов (в идеальных условиях – на один минерал при переходе к каждой следующей зоне);

\* внешние зоны сложены исходной породой со слабыми метасоматическими изменениями – эпипородами. Внутренние зоны (обычно, две – четыре зоны) представляют собой самостоятельные метасоматические породы;

Типовые метасоматические колонки, которые могли бы образоваться в условиях определенного состава исходной породы, состава и температуры раствора, в реальности испытывают ряд осложнений:

\* близкие по составу минералы могут сменять друг друга от зоны к зоне без изменения общего количества минералов;

\* количество зон уменьшается при снижении интенсивности метасоматизма, когда реакции во внутренних зонах протекают не до конца;

\* колебания мощности и состава зон вызываются появлением дополнительных трещин-флюидопроводников, колебаниями состава первичных пород и температуры гидротерм.

Геологу приходится сталкиваться с необходимостью изучения и описания метасоматической колонки при картировании самых разнообразных гидротермальных тел – околожильных ореолов, жил, зон и залежей. Только изучив их зональность, можно грамотно выделить петрографические виды метасоматических пород, определить их условия образования, фациальную принадлежность и сделать прогнозную оценку ареала их развития на полезные ископаемые.

**Лабораторное задание к работе № 6** выдается студентам в виде двойного препарата, который представляет собой сочетание и пришлифованного образца и шлифа, выполненных по двум срезам одного штуфа. Используются штуфы маломощных метасоматических жил и прожилков с околожильными ореолами, полностью или частично наблюдаемыми в препарате. Для выполнения задания необходимо:

- детально описать и зарисовать зональность минеральных агрегатов, наблюдаемую в полировке;

- описать и диагностировать под микроскопом минеральные ассоциации различных метасоматических зон;

- построить таблицу, отражающую строение метасоматической колонки, и оценить геохимические тенденции перераспределения вещества в колонке.

Описание гидротермальных горных пород проводят в соответствии с существующими правилами. Особое внимание при описании уделяют количеству минеральных новообразований, наличию пор, реликтов исходной горной породы и прожилков в той или иной зоне колонки.

## **Лабораторная работа №7**

### **Стадии гидротермального процесса**

При исследовании истории минералообразования на любом объекте приходится пользоваться двумя системами признаков возраста – для гидротермальных пород, образованных путем выполнения трещин и пор и для метасоматических пород. Кроме того, необходимо отчетливо различать последовательность образования минеральных индивидов (кристаллов, зерен), слагающих горные породы, и последовательность формирования минеральных агрегатов (горных пород), слагающих геологические тела.

#### *Последовательность образования минеральных индивидов.*

Главным свидетельством одновременного роста минеральных индивидов являются индукционные формы – своеобразные поверхности контакта растущих кристаллов. Индукционные формы представлены на кристаллах искривленными участками, покрытыми штриховкой в виде большого количества узких граней и ребер кристалла. Классическим свидетельством одновременного роста минералов



служат эвтектоидные структуры, например, сростания щелочного полевого шпата с кварцем («графическая структура»). В качестве признака синхронного образования минералов при метасоматозе используют наличие симплектитовых сростков. Достаточно вспомнить одновременное замещение ортоклаза диопсидом и -скаполитом с образованием причудливых сростков.

Соотношения последовательного роста минеральных индивидов наиболее отчетливо проявляются при их образовании в свободном пространстве – в порах и трещинах, когда устанавливается нарастание и обрастание поздним минералом раннего. Подтверждением позднего образования кристалла в условиях свободного роста является его ксеноморфизм по отношению к раннему кристаллу.

В условиях метасоматизма типичным соотношением последовательного роста являются псевдоморфозы замещения. Различают псевдоморфозы гомоосевые и агрегатные, моно- и полиминеральные. О позднейшем образовании минерала по отношению к другому минералу свидетельствует также приуроченность его индивидов к трещинам в последнем. При этом не имеет принципиального значения механизм роста позднего минерала и происхождение трещин в раннем минерале. Наконец, сосуществование минералов, сильно различающихся по степени изменения и деформации, признают как признак более раннего образования измененного минерала, особенно, если более деформированный минерал находится правее в ряду понижения пластических свойств минералов: альбит – калиево-натриевый полевой шпат – карбонаты – кварц – олигоклаз – андезин – лабрадор – биотит – роговая обманка – клинопироксен – ортопироксен – гранат.

Включения индивидов одного минерала в другом (пойкилитовая структура) и сростание индивидов с признаками реакционного взаимодействия относятся к мало достоверным соотношениям последовательного роста. Вообще, последовательное образование минералов может происходить в рамках единого порообразующего процесса (обрастание хромитом оливина в дунитах, кристаллизация мирмекитового кварца в гранитах, замещение минералов в разных зонах метасоматической колонки). Поэтому при разработке схемы стадийности особое внимание уделяют взаимоотношению геологических тел (минеральных агрегатов).

#### *Последовательность образования минеральных агрегатов.*

К соотношениям одновременного образования минеральных агрегатов принято относить сочетание жилы и околожильного ореола. При этом ореол всегда имеет метасоматическую природу, а жила может быть как результатом заполнения минералами открытой трещины (гидротермальная жила или жила выполнения), так и продуктом замещения пород в бортах трещины (метасоматическая жила или жила замещения). Отметим, что соотношение типа «жила – околожильный ореол» не является однозначным, так как в практике встречаются случаи неоднократного поступления гидротерм в одни и те же трещины структуры и совмещение разностадийных минеральных агрегатов. По этой же причине не являются однозначными взаимоотношения агрегатов разных зон в разнообразных полосчатых жилах.

К весьма достоверным признакам последовательного образования минеральных агрегатов принадлежат случаи пересечения жил любого генезиса, особенно со смещением фрагментов ранней жилы по разрывному нарушению,

локализирующему позднюю жилу. Столь же достоверным считается взаимоотношение типа «минерализованной брекчии»: обломки раннего агрегата цементируются новым агрегатом, иногда с частичным замещением или обрастанием минералами последнего.

Открытые трещины в ранних гидротермальных телах могут заполняться путем вдавливания пластичных агрегатов, сложенных карбонатами, серпентинами или глинистыми минералами. Материал ранней гидротермальной или метасоматической жилы, участвующей в каком-либо морфологическом соотношении с поздней жилой, может быть замещен еще более поздним метасоматическим агрегатом. Во всех подобных случаях возникают сложности в оценке последовательности породообразования, что требует внимательного всестороннего изучения рассматриваемых агрегатов.

**Лабораторное задание к работе № 7** состоит в интерпретации взаимоотношений минералов и минеральных агрегатов, наблюдаемых в образце и в петрографическом шлифе жильной или метасоматической породы. Выполняя задание, студент должен:

- диагностировать гидротермальные минеральные ассоциации в предложенных препаратах;
- детально описать и зарисовать все особенности петрографических взаимоотношений, как в образце так и в шлифе;
- правильно определить последовательность минералообразования, выделить стадии гидротермального процесса.

Описание гидротермальных горных пород проводят в соответствии с существующими правилами. Особое внимание при описании уделяют онтогенетическим признакам последовательности образования минералов и минеральных агрегатов.

## **Лабораторная работа № 8**

### **Специализированные карты интрузивных и метасоматических образований**

Вся совокупность работ по специальному геологическому картированию направлена на создание геологических карт районов сложного строения. Процесс картирования делится на этапы – предполевой, полевой и камеральный, на каждом из которых создают или преобразуют определенные картографические документы. Однако, карта это не цель, а средство познания перспектив территорий на полезные ископаемые. Поэтому результаты картирования подвергают тщательному анализу; наряду с геологической картой, строят различные специализированные карты – структурную, геохимическую, прогнозную, карту гидротермальных метасоматических образований.

В результате создают прогнозно-металлогенетическую модель района картирования, позволяющую:

- \* установить специализацию территории на те или иные виды полезных ископаемых;
- \* оценить размещение, тип, масштабы и уровень эрозионного среза месторождений полезных ископаемых;

\* разработать эффективный комплекс критериев поисков и оценки месторождений района.

**Лабораторное задание к работе № 8** заключается в знакомстве студентов с процессом построения и анализа различных специализированных карт по одному из рудных районов или узлов России и ближнего зарубежья, характеризующемуся развитием интрузивных и гидротермально-метасоматических образований.

Занятия носят демонстрационный характер. Студенты изучают под руководством преподавателя карту фактического материала, геологическую и тектоническую основы района, различные специализированные карты. Объяснения по составлению и интерпретации карт сопровождаются демонстрацией коллекций штуфов, шлифов и аншлифов интрузивных горных пород, метасоматитов и руд района. Выполнение индивидуального задания по лабораторной работе № 8 не предусмотрено.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Приобретая навыки обработки данных специального геологического картирования, студент закрепляет теоретические знания, полученные на лекциях, и лучше понимает особенности методики геологосъемочных работ. Лабораторные занятия по настоящему курсу помогают студенту подготовиться к самостоятельному проведению крупномасштабной геологической съемки интрузивных и гидротермально-метасоматических образований и камеральной обработки результатов.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основной:

1. *Алексеев В.И. Специальное геологическое картирование: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПГГИ, 2002.*
2. *Алексеев В.И., Петров Д.А. Петрография и литология: Методические указания по выполнению лабораторных работ. СПб.: Изд-во СПГГИ, 2011.*
3. Методические рекомендации по организации, проведению и конечным результатам геологосъемочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты-200 (второго издания). – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015.
4. Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий и выделения петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий // Ред. Ю. Б. Марин. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2007.

### Дополнительный:

5. Атлас учебных геологических карт. 2-е изд. / Ред. М.М. Москвин, Ю.А. Зайцев. М.: Аэрогеология, 1972.
6. Атлас учебных геологических карт. 3-е изд. / Ред. Ю.А. Зайцева, В.В. Козлова, М.М. Москвина. М.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1987.
7. *Бузкова Н.Г., Решетова С.А. Применение петрологических методов при поисках и прогнозировании эндогенного олово (или молибден)-вольфрамового оруденения: Методические рекомендации. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995.*
8. *Бурдэ А.И. Картографический метод исследования при региональных геологических работах. Л.: Недра, 1990.*
9. Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной геологической карты СССР масштаба 1:50 000 (1:25 000). Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1986.
10. Камеральная обработка материалов геологосъемочных работ масштаба 1:200 000. Методические рекомендации. Вып. 2. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999.
11. Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50 000. Вып. 3. Геологическая съемка интрузивных образований. Л.: Недра, 1972.
12. Методические рекомендации по организации и проведению геолого-минералогического картирования масштабов 1:500 000 и 1:200 000. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
13. Методические рекомендации по организации, проведению и конечным результатам геологосъемочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты-200 (второго издания). – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015.
14. Методические рекомендации по содержанию и оформлению комплектов Госгеолкарты-200/2 и Госгеолкарты-1000/3, издаваемых цифровым способом. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014.
15. Методические рекомендации по составу и структуре сопровождающих и первичных баз данных ГК-200/2 и ГК-1000/3. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015.

16. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд-е 2. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009.
17. Полевые исследования при геологосъемочных работах масштаба 1:200 000. Методические рекомендации. Вып. 3. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000.
18. Шарфман В.С., Кузнецов И.Е., Соболев Р.Н. Структуры магматических пород и их генезис. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005.

Профессор



Алексеев В.И.