

*На правах рукописи*



**Кокшина Людмила Владимировна**

**ПОСТДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ПЕТРОКЛАСТИЧЕСКИХ ГРАУВАКК  
(НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО ПАЛЕОЗОЯ  
ЮЖНОГО УРАЛА И ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

Специальность 25.00.06 – литология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург – 2013

Работа выполнена в лаборатории Литологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург)

*Научный руководитель:* доктор геолого-минералогических наук  
Мизенс Гунар Андреевич

*Официальные оппоненты:* доктор геолого-минералогических наук  
Юдович Яков Эльевич  
Институт геологии Коми научного центра УрО РАН

доктор геолого-минералогических наук  
Морозов Владимир Петрович  
Казанский (Приволжский) федеральный университет

*Ведущая организация:* Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (ФГУП "СНИИГГиМС") Министерства Природных Ресурсов РФ, г. Новосибирск

Защита состоится "26" декабря 2013 года в 10–00 часов на заседании Диссертационного совета ДК 004.021.02 при Институте геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН по адресу: 620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, д. 7, в актовом зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, д. 7, Институт геологии и геохимии УрО РАН, ученому секретарю диссертационного совета.

Телефон: (343) 371-19-97

Факс: (343) 371-19-97

E-mail: [krupenin@igg.uran.ru](mailto:krupenin@igg.uran.ru)

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. геол.-мин. наук



М.Т. Крупенин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Работа по систематизации данных о постседиментационном преобразовании осадочных пород, по установлению природных законов, управляющих процессами литогенеза, несмотря на многочисленную литературу, далека от завершения (Япаскурт, 2002; 2005), в том числе актуальным остается вопрос о влиянии первичного состава осадочных и вулканогенно-осадочных пород (петрофонд по И.В. Хворовой, седиментофонд по О.В. Япаскурту). А.Г. Коссовская и В.Д. Шутов (1963) выделили минеральные фации катагенеза для различных типов песчаников, среди которых особое место занимают граувакки. Но состав последних тоже не является однородным, следовательно, процессы их изменения протекают по-разному. В работах П.П. Тимофеева, А.Г. Коссовской, О.В. Япаскурта, А.А. Карцева, И.Ф. Габлиной, В.Н. Холодова и других авторов подчеркнуто, что, по крайней мере, на начальном этапе катагенеза направленность процессов преобразования такая же, как и в диагенезе.

Среди актуальных проблем, связанных с катагенезом, можно назвать также разработку критериев диагностики фоновых (т.е. связанных с местными флюидно-вещественными ресурсами) и наложенных (вследствие потока вещества из нижележащих геосфер) постседиментационных преобразований пород, выявление генетической связи рудогенеза с процессами литогенеза (Япаскурт, 2005). Особенно следует отметить, что на Урале процессы постседиментационных преобразований обломочных пород почти не изучены, за исключением рифейских кварцевых песчаников и глинистых пород Башкирского мегантиклинория (Анфимов, 1997) и нижнепалеозойских песчаников севера Урала (Никулова, 2013).

**Целью** работы было выявление особенностей постдиагенетических преобразований палеозойских петрокластических граувакк, формировавшихся в различных геодинамических обстановках и преобразованных в разных тектонических условиях.

**Основные задачи:** 1. Изучение основных аутигенных минералов (в том числе глинистых минералов цемента), кристаллизовавшихся на стадии катагенеза и в начале метагенеза в граувакках девона Магнитогорской мегазоны Южного Урала и девона-нижнего карбона Боровской зоны Казахстанского палеоконтинента (юго-запад Западной Сибири).

2. Выявление типоморфных особенностей минералов-индикаторов различных стадий фонового и наложенного ката- и метагенеза.

3. Сопоставление стадий литогенеза по минеральным индикаторам и отражательной способности витринита в песчаниках Боровской зоны.

4. Выявление в разрезах и на площади участков и зон наложенного катагенеза, оценка возможных факторов и процессов, приведших к его появлению.

5. Сопоставление полученных результатов с данными по классическим разрезам петрокластических граувакк.

6. Анализ полученных данных с точки зрения модели минеральных фаций литогенеза.

7. Сопоставление данных стадийального анализа с генетическими признаками осадочных комплексов.

8. Уточнение границы ката- и метагенеза в граувакках на основе данных по Магнитогорской мегазоне.

**Фактический материал** из разрезов Южного Урала (первый блок работы) собран автором в ходе полевых работ и обработан в течение 2007-2011 гг. Кроме того, была использована коллекция образцов и шлифов д.г.-м. н. Г.А. Мизенса. В основу второго блока, связанного с Зауральем (Боровская зона), лег керновый материал ряда курганских структурно-поисковых скважин (ВК-34, ВК-37, ВК-44 и ВК-54) и керн параметрической скважины Курган-Успенская-1 (КУ-1). Эти исследования проведены в рамках Государственного контракта № 8/08 с участием автора в 2008 и 2009 гг. В общей сложности при выполнении работы изучено и описано около 400 петрографических шлифов, проведено порядка 400 замеров на электронном микронзонде, изучено 10 образцов на электронном микроскопе. Кроме того, использованы данные рентгенофазового и термического анализов, в том числе глинистых минералов (около 50 образцов).

**Научная новизна.** 1. Установлено, что палеозойские петрокластические граувакки Магнитогорской мегазоны и Боровской зоны преобразованы до уровня катагенеза и начального метагенеза. На основе минералов-индикаторов в разных частях разрезов выявлены пять стадий постседиментационного преобразования этих пород.

2. Состав, характер распределения и особенности аутигенных минералов в палеозойских песчаниках северной части Боровской зоны и, в меньшей степени, в песчаниках Магнитогорской мегазоны свидетельствуют об активном участии флюидов (в том числе глубинных) в их формировании, а также о проявлении стрессового литогенеза на территории Магнитогорской мегазоны. Рассмотрены возможные условия протекания наложенных процессов.

3. Показано, что наиболее чувствительными минералами-индикаторами фонового катагенеза петрокластических граувакк Южного Урала и Зауралья являются некоторые глинистые минералы, пренит, пумпеллит и эпидот. Кристаллизация Mg-Fe-хлоритов и цеолитов, традиционно также рассматриваемых в качестве минералов-индикаторов степени преобразования вулканомиктовых граувакк, в значительной степени зависит от характера среды.

4. Впервые исследованы глинистые минералы цемента петрокластических граувакк Магнитогорской и Боровской зон.

5. Изучена минералогия и особенности кристаллизации таких аутигенных минералов, как пренит, пумпеллит, кварц, альбит, карбонаты (кальцит и сидерит), сульфаты (ангидрит, барит, целестин), сульфиды, актинолит, эпидот.

**Практическая значимость.** С постдиагенетическими процессами в толщах осадочных пород, как известно, связаны перераспределение и концентрация многих полезных компонентов, в том числе образование рудопроявлений и месторождений некоторых твердых полезных ископаемых (различных сульфидов, барита, окислов и гидроокислов марганца, урановых и других редкометалльных руд, и др.), формирование залежей углеводородов. Обилие кристаллического карбонатного цемента в песчаниках может свидетельствовать о наличии нефти на глубине, с окислением которой связано выделение CO<sub>2</sub>.

**Защищаемые положения:** 1. Наиболее чувствительными минералами-индикаторами фонового катагенеза петрокластических граувакк Магнитогорской мегазоны и Боровской зоны являются пренит, пумпеллит, эпидот и глинистые минералы. Кристаллизация Mg-Fe хлоритов и цеолитов в значительной степени зависит от характера окружающей среды.

2. Палеозойские петрокластические граувакки Магнитогорской мегазоны и Боровской зоны изменены неравномерно. С использованием минералов-индикаторов выделено пять стадий постдиагенетического преобразования пород в интервале от начального катагенеза до начального метагенеза.

3. Состав, характер распределения и особенности аутигенных минералов в палеозойских песчаниках северной части Боровской зоны и в меньшей степени в песчаниках Магнитогорской мегазоны свидетельствуют об активном участии флюидов (в том числе глубинных) в их формировании. Для пород Магнитогорской мегазоны более характерны проявления наложенных процессов, связанных со стрессовым литогенезом.

**Апробация результатов исследований.** Основные выводы и положения диссертации докладывались на семинарах лаборатории литологии ИГГ УрО РАН, а также на ряде региональных и Всероссийских научных совещаниях и конференциях. В том числе на 8 и 9 Уральских литологических совещаниях (Екатеринбург, 2010 и 2012 гг.), научных Чтениях памяти П.Н. Чирвинского «Проблемы минералогии, петрографии и металлогении» (Пермь, 2012 г.), II Всероссийской конференции «Верхний палеозой России: стратиграфия и фациальный анализ» (Казань, 2009 г.), II Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности» (Тюмень, 2010 г.), Российских совещаниях с международным участием «Минеральные индикаторы литогенеза» и «Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах» (Сыктывкар, 2011 и 2012 гг.), VI и VII Всероссийских литологических совещаниях (Казань, 2011 г.; Новосибирск, 2013 г.), Всероссийском литологическом совещании, посвященном 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина (Санкт-Петербург, 2012 г.), XIV и XVII Международных симпозиумах им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2010 и 2013 гг.), II Международной конференции «Clays, Clay Minerals and Layered Materials» (Санкт-Петербург, 2013 г.). Раздел работы, посвященный влиянию флюидных эманаций и локальных проявлений тектонических процессов на фоновый катагенез, поддержан грантом РФФИ (№12-05-31274мол\_а).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 24 работы: 3 статьи – в журналах из списка ВАК («Геология и геофизика» и «Литосфера»), 5 – в продолжающихся изданиях («Ежегодник ИГГ УрО РАН-2009, -2010, -2011, -2012», «Вестник УрО РМО»), 16 – в материалах конференций, совещаний и симпозиумов различных рангов.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, содержит 168 страниц, в том числе 58 рисунков и 25 таблиц. Список литературы включает 162 наименований.

**Благодарности.** Автор искренне благодарен своему научному руководителю доктору геол.-мин. наук Гунару Андреевичу Мизенсу за постановку столь интерес-

ной и актуальной темы, за предоставленный им фактический материал, постоянную помощь и поддержку. Большую помощь при обсуждении материалов оказали член-корр. РАН А.В. Маслов, кандидаты геол.-мин. наук М.Т. Крупенин, Ю.В. Ерохин (ИГГ УрО РАН), доктор геол.-мин. наук В.В. Петрова (ГИН), доктор геол.-мин. наук А.И. Брусницын (СПбГУ). Автор глубоко признателен сотрудникам Казанского (Приволжского) федерального университета, особенно доценту Г.А. Кринари, за теплый прием и за предоставленную возможность проведения рентгенофазовых анализов и помощь в их расшифровке. Автор благодарит сотрудников лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН за проведенные аналитические исследования. Постоянную моральную поддержку оказывали все сотрудники лаборатории литологии ИГГ УрО РАН. Названным коллегам, а также тем, кто уделял внимание докладам автора на конференциях и совещаниях, выражается глубокая и искренняя признательность.

## ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МАГНИТОГОРСКОЙ И ЗАУРАЛЬСКОЙ МЕГАЗОН

1.1. МАГНИТОГОРСКАЯ МЕГАЗОНА прослеживается приблизительно от широты г. Миасс на севере до южного погружения Уральских структур (Пучков, 2000). Девонские образования в ее пределах развиты широко, но неравномерно – многочисленные работы В.А. Маслова и О.В. Артюшковой (1998, 2002 и др.). Отложения нижнего девона известны практически только на западе мегазоны, в виде изолированных фрагментов разреза. В северных районах среди них выделены мансуровская, ильтибановская, ускульская, рыскужинская толщи, почти полностью сложенные свежим вулканомиктовым материалом. На юге в большей степени встречаются кремнистые породы. Несколько восточнее (в пределах Актау-Таналыкской подзоны) распространены отложения верхней части нижнего девона (эмсский ярус) и эйфельского возраста – вулканиты баймак-бурибаевской свиты, кремни актауской свиты, кремни и обломочные породы туратской и ишкининской толщ. Еще восточнее (в Западно-Магнитогорской зоне) девонский разрез начинается с эйфельского яруса, сложенного чередующимися в различных соотношениях вулканогенными, вулканогенно-обломочными, обломочными и кремневыми комплексами. Главной здесь является ирендыкская свита (верхи эмса-низы эйфеля), сложенная тефроидами и грубообломочными туфами, в меньшей степени лавами базальтового и андезибазальтового состава. На востоке вулканогенные образования перекрыты яшмами ярлыкаповской и бугулыгирской свит и вулканитами карамалыташской свиты. У восточного подножья хр. Ирендык распространены микститы (гадилевская толща). Выше залегают вулканомиктовые песчаники и конгломераты живетско-нижнефранской улутауской свиты. Средний и верхний горизонты франского яруса сложены преимущественно кремнистыми породами мукасовской свиты, развитыми почти на всей территории мегазоны. Верхи девонского разреза (фаменский ярус) слагает песчано-глинистая толща зилаирской серии. В восточных зонах Магнитогорской мегазоны в среднем и верхнем девоне широко распространены вулканиты.

1.2. ЗАУРАЛЬСКАЯ МЕГАЗОНА согласно данным С.Н. Иванова и соавторов (Формирование..., 1986), охватывает Валерьяновскую, Боровскую и Убаганскую зоны, в

пределах которых предполагается граница между уралами и казахстанцами. В западной и центральной частях Валерьяновской зоны развиты нижнекаменноугольные вулканогенные отложения (Пумпянский, 1999), которые на востоке замещаются терригенно-карбонатными толщами. В пределах Боровской зоны к живецкому и франскому ярусам условно отнесены красноцветные отложения, вскрытые под фаменскими и турнейскими породами (Пумпянский, 1990; Мизенс и др., 2011; Степанова и др., 2011). В восточной части Тобол-Убаганского поднятия и в Вагай-Ишимской впадине этой зоны наиболее широкое распространение имеют терригенные образования. Фаменский ярус верхнего девона и турнейский – нижнего карбона на этой территории сложены карбонатными и глинисто-карбонатными породами, разбуренными многочисленными скважинами (Богуш, 1985; Пумпянский, 1990; Ехлаков и др., 2010; Мизенс и др., 2011; Степанова и др., 2011). Отложения визейского яруса в объеме нижнего подъяруса вскрыты только скважиной КУ-1. Они представлены органогенно-обломочными известняками, сероцветными и красноцветными песчаниками и глинистыми породами.

1.3. Из истории изучения ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАГНИТОГОРСКОЙ И БОРОВСКОЙ СТРУКТУР. Постдиагенетические преобразования девонских обломочных толщ Магнитогорской мегазоны рассматриваются лишь в отдельных работах. В первую очередь следует отметить статью В.М. Нечеухина (1969), в которой анализируются аутигенные минералы, характерные для стадии зеленокаменного метаморфизма (по современным схемам – метагенеза) вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород. Некоторые вопросы катагенеза и аутигенного минералообразования в средне- и верхнедевонских отложениях в той или иной мере затронуты также в работах Л.В. Анфимова (Смирнов, Анфимов, Силантьев, 1971; Анфимов, Силантьев, 1975), Т.И. Широковой (1974, 1975), И.В. Хворовой и М.Н. Ильинской (1980), М.Ю. Аржавитиной (Аржавитина, 1978; Аржавитина, Аржавитин, 1978), Г.А. Мизенса (Мизенс, 2002; Мизенс, Трунов, 2003; Мизенс, Клещенок, 2005).

Процессы постседиментационных преобразований палеозойских осадочных пород на юго-западе Западной Сибири, в том числе на территории Боровской зоны, также изучены лишь в общих чертах. Наиболее представительные данные при этом получены с использованием отражательной способности витринита (Фомин, 1987, 2008; Зубков, Эрэт, 2011). По результатам этих исследований А.Н. Фомин установил, что уровень катагенеза органического вещества (ОВ) в верхних горизонтах палеозойских отложений изменяется от среднего мезокатагенеза (МК<sub>2</sub>) до глубокого апокатагенеза (АК<sub>3</sub>, иногда выше). М.Ю. Зубков и В.В. Эрэт (2011), проводившие пиролитические исследования шлама и керна из скважин Южно-Мокроусовская-1 и Северо-Привольная-1, получили значения R<sup>o</sup><sub>vt</sub>, соответствующие МК<sub>1</sub>-началу МК<sub>3</sub>. Исследования постседиментационных преобразований по минеральным индикаторам до наших работ (Мизенс, Кокшина, 2012) на данной территории не проводились.

## ГЛАВА 2. ПРОБЛЕМА ГРАНИЦ И СТАДИЙ ЛИТОГЕНЕЗА

Вопрос о разграничении постседиментационных стадий литогенеза, несмотря на огромное количество как отечественных, так и зарубежных работ, по сей день принадлежит к разряду актуальных. Особенно остро он стоит в отношении границ катагенез/метагенез и метагенез/метаморфизм. Так, В. Энгельгардт (1977), А.В. Щербачков (1974), В.И. Кононов и В.А. Ильин (1971) предлагали проводить границу между катагенезом и метагенезом по критической температуре воды и ее растворов (374–450 °С), в то время как А.А. Махнач (1989) включал в зону катагенеза область, характеризующуюся наличием собственных подземных вод, а метагенезу, по его мнению, соответствует наличие воды в надкритическом состоянии.

Иной путь решения проблемы предлагают исследователи, считающие, что катагенетические и метагенетические изменения – это процессы одной категории, постепенно сменяющие друг друга и различающиеся интенсивностью термобарометрических показателей и/или минералогических признаков. «Вещественное» направление получило более широкое признание.

Все эти подходы основываются в первую очередь на стадийности и постепенности процессов трансформации пород, они отражают признаки классического литогенеза. Однако, уже в 1983 году В.Н. Холодов писал о влиянии перераспределения газоводных флюидов, отжимающихся из глин, в том числе, по тектоническим трещинам (элизионный катагенез). За последние десятилетия появилось много фактов, доказывающих влияние глубинных флюидов на постдиагенетические процессы, таким образом, сформировалось новое направление – «флюидный литогенез». Обстоятельный анализ результатов различных исследователей в этом направлении выполнил Я.Э. Юдович (2009, 2011 и др.). Хотя следует отметить, что все существующие работы доказывают необходимость применения его в дополнении к классическому литогенезу. О.В. Япаскерт (1999, 2003) и И.М. Симанович (2000) предлагают альтернативное направление, именуя его «геодинамическая типизация литогенеза», одна из задач которого также сводится к систематизации всех факторов, в том числе эндогенной природы, влияющих на постседиментационные процессы.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились как с использованием оптического микроскопа, так и в лаборатории Физико-химических методов исследования (ФХМИ) Института геологии и геохимии УрО РАН: микрозондовые анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX 100 (аналитики Д.А. Замятин и В.В. Хиллер), изучение микроструктур – на электронном микроскопе JSM-6390LV, Jeol (аналитик С.П. Главатских). Определение содержаний породообразующих оксидов проведено с помощью волнового (СРМ-18) и энергодисперсионного (EDX-900HS) спектрометров (аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, В.П. Власов, Г.С. Неупокоева). Концентрации редких и рассеянных элементов определены методом ICP-MS (аналитики Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко, О.А. Березикова, Л.К. Дерюгина). Рентгенометрический анализ выполнен на дифрактометре XRD-7000



(Shimadzu) – аналитики Т.Я. Гуляева и О.Л. Галахова. Несколько проб глинистого цемента песчаников изучены в лаборатории Казанского (Приволжского) Федерального университета на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) под руководством доцента Г.А. Кринари.

## ГЛАВА 4. ПЕТРОГРАФИЯ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ГРАУВАКК МАГНИТОГОРСКОЙ МЕГАЗОНЫ И ЗАУРАЛЬЯ

4.1. МАГНИТОГОРСКАЯ МЕГАЗОНА. *Ильтибановская* и *мансуровская толщи* ( $D_1$ ) сложены полевошпатовыми граувакками и, реже, собственно граувакками. Обломки полевых шпатов в них составляют 20–40%, кварца 5–7%, встречаются зерна пироксенов (до первых процентов), единичные обломки эпидота, в то время как основная часть представлена обломками пород (60–70%), среди которых преобладают основные и средние вулканиты, много силицитов (до 25–30% от общего количества обломков пород). В песчаниках *рыскужинской толщи* ( $D_1$ ) обломки пород представлены практически полностью вулканитами, количество обломков пироксенов уменьшается, кварца также мало (менее 5%), в то время как содержание полевых шпатов – 10–40%. *Ирендыкская свита* ( $D_{1-2}$ ) характеризуется неоднородным составом песчаников. В разных разрезах преобладают обломки как кислых, так и основных/средних вулканитов (от 30–50 до 70–80%), осадочные породы не типичны. Довольно много зерен полевых шпатов (местами до 50%), содержание кварца не превышает 5%. Состав аллотигенной части *гадилевской толщи* ( $D_2$ ) мало отличается от такового ирендыкской свиты. *Ишкининская* и *туратская толщи* ( $D_{1-2}$ ) характеризуются более разнообразным составом, хотя они также относятся к полевошпатовым и собственно грауваккам. Аллотигенные компоненты здесь представлены полевыми шпатами (5–10%, в некоторых случаях до 25%), кварцем (5–10%) и разнообразными обломками пород (70–90%): вулканитами (от 30 до 50–60%), силицитами (25–30 до 40–50%), серпентинитами (5–10%), известняками (до 5%), кристаллическими сланцами (1–2%). Присутствует также пироксен (до 2%), единичные комочки глауконита, чешуйки биотита. *Улутауская свита* ( $D_{2-3}$ ) также неоднородна. В ее составе распространены как собственно граувакки (обломки средних и кислых вулканитов составляют 60–80%, а количество кварца и полевых шпатов по 10–15%), так и полевошпатовые разности с содержанием плагиоклазов до 50% и незначительным количеством кварца. Собственно граувакки слагают псаммитовую часть в восточных разрезах *зилаурской серии* ( $D_3$ ). Количество обломков полевых шпатов здесь не превышает 10–15%. Кварц, как и зерна кислых вулканических пород, практически отсутствуют (тех и других до 5%). Встречаются обломки как пироксенов, так и амфиболов. Среди обломков пород преобладают базальтоиды, распространены кремни (до 20–25%), встречаются редкие зерна серпентинитов. Кварц-полевошпатовые и полевошпат-кварцевые граувакки западных разрезов *зилаурской серии* характеризуются более разнообразным составом: содержание кварца и плагиоклазов варьирует в пределах 10–30%, обломков пород 50–70%. Последние представлены не только магматитами, но и обломками осадочных (кремни, аргиллиты, редко известняки) и метаморфических (сланцы, кварциты, серпентиниты) пород.

В целом, все девонские песчаники довольно близки по петрографическому составу: на диаграммах они занимают поля полевошпатовых и собственно граувакк, относящихся к петрокластической разновидности (рис. 1).

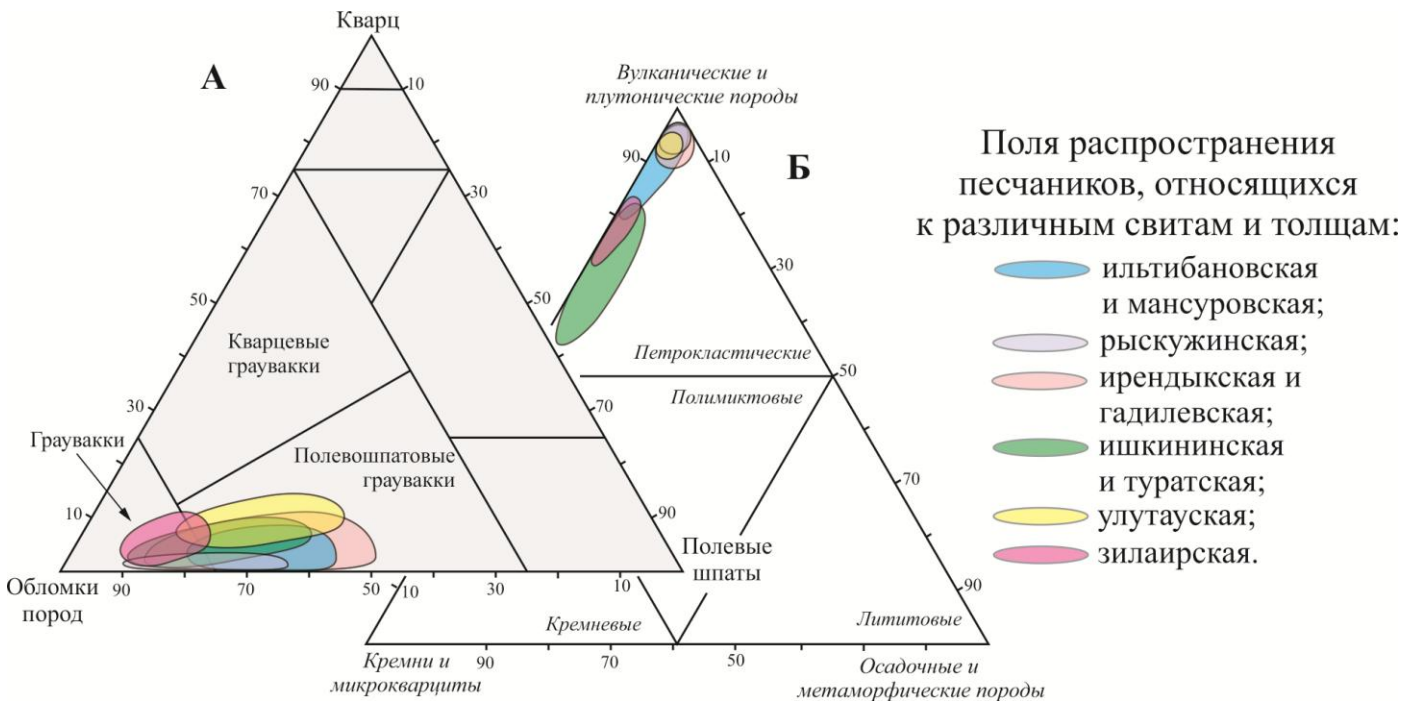


Рисунок 1. Состав девонских песчаников Магнитогорской мегазоны

А – на основной диаграмме в системе кварц – полевые шпаты – обломки пород, Б – на диаграмме для определения разновидностей граувакк (по Систематика..., 1998)

4.2. ЗАУРАЛЬСКАЯ МЕГАЗОНА. *Девонские отложения* в скважинах ВК-34 и ВК-54 представлены петрокластическими полевошпатовыми граувакками, реже собственно граувакками (обломков кварца менее 5%, плагиоклазов 20–30%, иногда менее 5%) (рис. 2). В единичных случаях встречаются зерна микроклина. Почти всегда присутствует ожелезненный биотит (до 5%), иногда отдельные пластинки мусковита. *Нижнетурнейские песчаники*, слагающие маломощные прослои и линзы в карбонатно-сульфатной толще (скв. КУ-1), представлены мелко- и среднезернистыми петрокластическими полевошпатовыми и собственно граувакками. Главными компонентами в них являются зерна основных вулканитов и плагиоклазов, причем последние во многих случаях замещены кальцитом, ангидритом и каолинитом. В составе *нижневизейского подъяруса* различаются четыре толщи. В нижней – песчано-известняковой – распространены петрокластические полевошпатовые граувакки (плагиоклазов до 50–60%, кварца – 1–5%, встречаются пластинки биотита, округлые комочки окисленного глауконита), много фрагментов неравномерно распределенных скелетных остатков.

Песчаники второй (красноцветной) толщи представлены петрокластическими полевошпатовыми граувакками (плагиоклазов 25–35%, кварца 1–5%), а также собственно граувакками (плагиоклазов 10–25%, кварца 1–5%). Песчаники третьей – песчано-известняковой толщи – такие же петрокластические полевошпатовые граувакки (плагиоклазов 35–40%, кварца менее 5%) и собственно граувакки (пла-

гиоклазов 15–25%, кварца менее 5%). В песчаниках верхней красноцветной толщи плагиоклазов 15–20%, кварца – 2–3%.

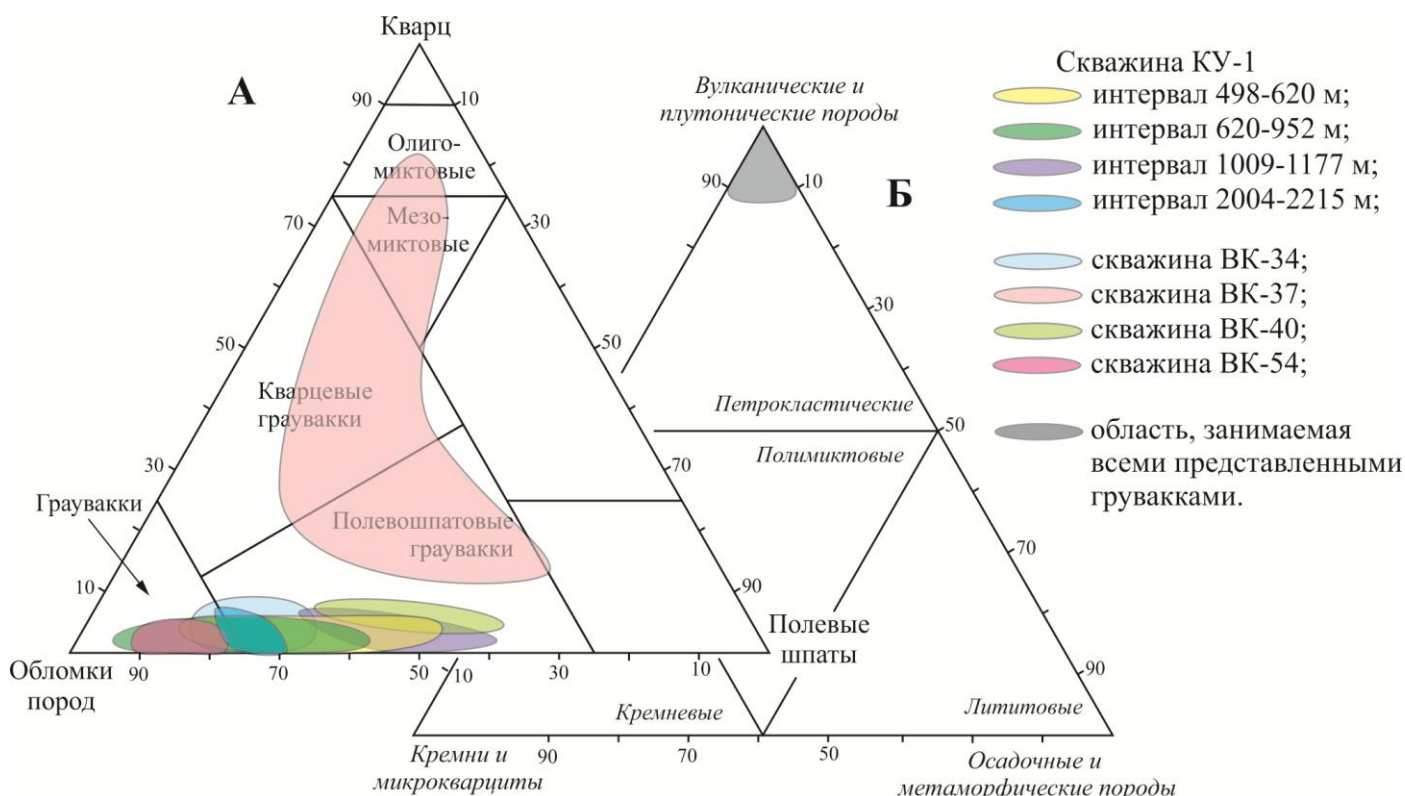


Рисунок 2. Состав девонских песчаников Боровской зоны (по Систематика..., 1998)

## ГЛАВА 5. МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ СТЕПЕНИ ПОСТДИАГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПЕТРОКЛАСТИЧЕСКИХ ГРАУВАКК ЮЖНОГО УРАЛА И ЗАУРАЛЬЯ

5.1. ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ. Основную роль среди глинистых минералов цемента песчаников Магнитогорской мегазоны играют *хлориты*. На рентгенограммах видны четкие  $14\text{\AA}$  и  $7\text{\AA}$  пики, хорошо проявлены и другие базальные отражения. Содержание FeO в них колеблется в пределах от 10,97 до 33,23%, в то время как содержание MgO варьирует от 8,58 до 19,97%. Пересчет результатов микрозондового анализа показал, что вариации минералов вписываются в рамки шамозит (29–64%) – клинохлор (28–62%). Кроме того, в состав всех изученных хлоритов Магнитогорской мегазоны входят донбассит (0–13%) и пеннантит (0–3%). Для более измененных пород характерно незначительное уменьшение магнезиальности и увеличение железистости.

В подчиненном количестве в песчаниках присутствуют иллиты и смешанослойные минералы. Наличие иллит-монтмориллонита предполагается в породах мансуровской толщи и ирендкской свиты. Иногда наблюдается чередование блоков диоктаэдрической слюды и триоктаэдрического хлорита, причем главную роль в этом агрегате играет хлорит, его чешуи значительно крупнее и более идиоморфные. На рентгенограммах песчаников  $D_1$  и  $D_{1-2}$  проявляются пики, характерные для диккита, в образцах  $D_2$  (гадилевская толща) – каолинита и диккита, а в граувакках  $D_{2-3}$  (улутауская свита) и  $D_3$  (зилаирская свита) – каолинита. Присутствие слюд группы 1M отмечается

в породах гадиловской ( $D_2$ ) и мансуровской ( $D_1$ ) толщ, в то время как в ирендыкских песчаниках ( $D_{1-2}$ ) в некоторых случаях появляются пики слюд политипа  $2M_1$ .

Песчаники Боровской зоны ( $D_{2-3}$  и  $C_1$ ) характеризуются менее зрелой ассоциацией глинистых минералов. В целом, роль хлоритов здесь значительно меньше, постоянно встречаются монтмориллониты. Распространены также смешанослойные фазы монтмориллонит-иллит (20–35%, в некоторых образцах до 40–45% от общего количества глинистых минералов). Обычным является каолинит. В глинистых породах нижнего визе монтмориллониты нередко встречаются в виде мелкочешуйчатых агрегатов совместно с криптокристаллическим кварцем, что характерно для бентонитов и, следовательно, подтверждают наличие пирокластического материала. По данным рентгенофазового анализа монтмориллонит здесь представлен кальциево-магниевого разновидности, указывающей на основной состав субстрата (Попов, 1991).

5.2. Прениты и пумпеллииты. Пренит максимально распространен в граувакках ильтибановской и мансуровской, ишкининской и туратской, гадиловской толщ. В породах зилаирской серии этот минерал развивается эпизодически. Он утрачивает свою значимость и по мере увеличения степени изменения пород. Так, в песчаниках рыскужинской толщи и ирендыкской свиты пренит присутствует лишь в виде чешуек по зернам плагиоклазов и малочисленных радиально-лучистых агрегатов, замещаемых эпидотом и карбонатами. Пумпеллииты, в целом, развиты относительно слабее. Наиболее распространены они (аналогично прениту) в породах  $D_1$  и  $D_{1-2}$ . Исключение составляют лишь ишкининские и туратские песчаники, где этот минерал встречается лишь в единичных случаях. В граувакках зилаирской серии тоже почти нет пумпеллиитов. В то же время, в отличие от пренита, пумпеллиит не теряет своей значимости в ирендыкских и рыскужинских песчаниках.

Результаты наших исследований позволяют выделить среди южноуральских пренитов 3 группы, различающиеся по морфологическим особенностям и, частично, оптическим свойствам (Кокшина, 2010). К первой группе принадлежит лучистый и радиально-лучистый минерал, неоднородный, буроватый. Минерал развивается либо по глинистому цементу и матриксу, либо по обломкам вулканитов. Вторая группа – это лучистые и радиально-лучистые агрегаты, сложенные однородным, бесцветным минералом, главным образом ассоциирует с кварцем и пумпеллиитом, развиваясь по обломкам вулканитов и пироксенов. Третья группа – шестоватые и радиально-шестоватые агрегаты, бесцветные до бурого, однородные. Минерал встречается только в песчаниках ишкининской и туратской толщ.

Пумпеллиит представлен пластинками, брусочками ( $0,03 \times 0,01$  мм), а также тонкозернистыми агрегатами. Он часто развивается по обломкам пироксенов, где ассоциирует с кварцем. В то же время в окраске и плеохроизме минерал достаточно разнообразен. Так, по обломкам пироксена кристаллизуется слабоокрашенный зеленовато-голубоватый, до бесцветного. В случаях, когда минерал развивается по матриксу, цвета более насыщенные: зеленовато-желтый, синевато-зеленый. Все пумпеллииты представлены железистыми разновидностями, в желтовато-зеленых – содержание  $Fe_2O_3$  колеблется в пределах 14,30–18,53%, в голубоватых и синевато-зеленых оно падает до 5,26–7,70%. Кроме того, последним свойственно высокое

содержание MgO (1,75–2,61%). Агрегатная зеленая разновидность богата как Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12,61%), так и MgO (2,17%).

5.3. КАРБОНАТЫ. В составе девонских песчаников Магнитогорской мегазоны основным карбонатным минералом является кальцит, но распространен он неравномерно – местами полностью отсутствует, а в некоторых образцах его количество достигает 20–25%. Минерал развит во всех возрастных интервалах, при этом отчетливо выделяются несколько его генераций. Изучение химизма аутигенных кальцитов показало неравномерное распределение Mn в их составе. Оказалось, что более поздний минерал характеризуется относительно низким содержанием Mn – до 0,03–0,11%, в то время как в ранних генерациях это значение составляет 0,25–0,71%. Кроме того, в нижней части разреза (D<sub>1</sub>) содержание марганца в кальцитах в целом ниже, чем в верхней (D<sub>3</sub>). Предполагается (Boles, Franks, 1979; Махнач 1989), что сингенетическим кальцитом в процессе преобразования глинистых минералов в гидрослюды захватываются Fe и Mg. В Магнитогорской мегазоне, однако, ионы этих элементов, содержащиеся в элизионной воде, расходуются преимущественно на кристаллизацию хлоритов (частично и железистых карбонатов), в решетку кальцита попадает лишь незначительная их часть. В то же время ионы марганца, захватываются в большей мере. В ходе увеличения степени катагенетических изменений элизионные процессы постепенно угасают, что, вероятно, и отражается на химическом составе более поздних кальцитов.

В рассматриваемых граувакках встречаются и выделения железистого карбоната (возможно, сидерита). Форма сечений его зерен близка к округлой, размер, преимущественно, 0,006 мм.

В песчаниках Боровской зоны кальцит часто кристаллизуется в виде различных по размерам и форме выделений по плагиоклазам, по обломкам вулканических пород, по глинистому цементу, иногда слагает крупные пойкилитовые кристаллы, цементирующие обломочные зерна, а также выполняет трещины в породе и заполняет пустоты. В песчаниках нижнего карбона этот минерал слагает до 30–40% объема породы и часто представлен железистой разновидностью (FeO – 1,46–2,62%). Местами по вулканитам и в порах развивается анкерит, встречаются доломит и сидерит.

5.4. ЦЕОЛИТЫ. В отложениях Магнитогорской мегазоны минералы группы цеолитов развиты эпизодически и только на уровне верхнедевонской зилаирской серии, в ее восточных разрезах. Так, редкие кристаллы анальцима зафиксированы на хр. Бягода, а ломонтит описан (Мизенс, Трунов, 2003; Мизенс, Клещенок, 2005) в районе Ириклинского водохранилища в песчаниках, содержащих, в отличие от типичных пород зилаирской серии, большое количество обломочных зерен известняков и характеризующихся базальным кальцитовым цементом.

В песчаниках Боровской зоны цеолиты обычно фиксируются лишь в виде следов анальцима, несмотря на обилие свежих плагиоклазов и обломков вулканитов. И только в одном случае, в нижневизейских красноцветных песчаниках, в интервале 625,6–633,7 м (скв. КУ-1) был встречен, клиноптилолит в количестве до 30% от объема породы, хотя состав этого песчаника не отличается от выше- и нижележащих образований. Для клиноптилолита характерно высокое содержание железа (2,50–4,36%), что придает ему красный цвет.

5.5. ПЛАГИОКЛАЗЫ. Наиболее широко вторичные изменения зерен плагиоклазов проявлены в породах ирендыкской свиты и рыскужинской толщи; в песчаниках иш-кининской и туратской толщ они прослеживаются в меньшем количестве. В первую очередь это следы растворения, выраженные в формировании конформных и инкорпорационных контактов, широко развита регенерация. Нередко наблюдается пятнистая альбитизация, образование структуры шахматного альбита. Альбитизация зерен плагиоклазов, наряду с растворением, имеет место и в менее измененных средневерхнедевонских песчаниках. Она подтверждается при проведении электронно-зондового микроанализа, а пересчеты на миналы показали, что альбиты представлены почти чистыми крайними членами ряда плагиоклазов. Полевые шпаты песчаников Боровской зоны существенно менее затронуты процессами альбитизации.

5.6. КВАРЦ. В породах Магнитогорской мегазоны новообразованный кварц появляется, главным образом, в нижней части разреза – в виде регенерационных каемок. Иногда в песчаниках рыскужинской толщи и ирендыкской свиты наблюдаются структуры кристаллизационного бластеза. Характерно также замещение кварцем в ассоциации с пумпеллиитом, актинолитом и кальцитом обломочных зерен пироксенов. В Боровской зоне аутигенный кварц представлен отдельными выделениями, цементирующими обломочные зерна, в пустотах он образует совместные с кальцитом гранобластовые агрегаты.

5.7. ЭПИДОТ, АКТИНОЛИТ. Выделения эпидота встречаются в песчаниках нижнедевонских и нижне-среднедевонских толщах Магнитогорской мегазоны. В интенсивнее преобразованных рыскужинских и ирендыкских породах наряду с ним появляются длиннопризматические волосовидные кристаллы актинолита. В песчаниках из скважины ВК-37 (Боровская зона) эпидот рассеян в виде мелких ксеноморфных образований, и нередко ассоциирует с актинолитом.

5.8. СУЛЬФИДЫ. Особое место среди аутигенных минералов песчаников Боровской зоны занимает пирит, тонкодисперсный и в виде многочисленных стяжений неправильной формы, редко встречаются кубические кристаллы, еще реже фрамбоиды. Минерал часто непосредственно связан с выделениями битумного вещества в порах, по стилолитовым и парастилитовым швам. В отдельных случаях (в ассоциации с клиноптилолитом в скв. КУ-1) встречаются крупные кристаллы сфалерита до 0,7 мм. Кроме того, в некоторых пробах имеются ураганные содержания таких элементов, как Zn, Cd, Pb, U, Mo, Tl, Ta, Ge, Cu, Co, свидетельствующих о точечных включениях сульфидов. Встречены также тонкие агрегаты сфалерита, приуроченные к заполненным карбонатом пустотам. Песчаники Магнитогорской мегазоны не отличаются разнообразием аутигенных сульфидов, типичными здесь являются выделения пирита.

5.9. СУЛЬФАТЫ. По плагиоклазам и зернам основных вулканитов в песчаниках Боровской зоны иногда развивается ангидрит. В небольшом количестве таблитчатые кристаллы этого минерала обнаружены в составе девонских красноцветов, гораздо больше его в нижнем турне. В красноцветных песчаниках и аргиллитах нижнего визе гипс и ангидрит местами кристаллизуются в центральных частях пор и микрожеод, так же как и в нижнем турне, выполняет разномасштабные трещины. По данным электронно-зондового микроанализа ангидрит характеризуется некото-



рой примесью Sr и, в отдельных случаях, BaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO. В составе песчаников каменноугольного возраста встречаются барит и целестин, особенно в толще красноцветных пород, где эти минералы присутствуют в виде розеток и отдельных кристаллов, в том числе в порах и жеодах.

## ГЛАВА 6. ОСОБЕННОСТИ ФОНОВОГО КАТАГЕНЕЗА, СТАДИИ И ПОДСТАДИИ

Ассоциации аутигенных минералов, характер их распределения, некоторые морфологические и оптические особенности позволяют наметить своего рода рубежи в пределах зоны фонового катагенеза граувакк (рис. 3). Так, присутствие следов каолинита и проявляющиеся иногда признаки смектита в песчаниках улутауской свиты, а также смешанослойные фазы в зилаирских граувакках указывают на начало позднего катагенеза. Пренит и тем более пумпеллиит здесь развиты эпизодически. В отдельных разрезах присутствует ломонтит. Упомянутые отложения, вероятно, следует коррелировать с ломонитовой фацией А.Г. Коссовской (1962).

Наличие диккита, наряду с каолинитом, более широкое развитие смешанослойных фаз и слюды типа 1М присущи песчаникам гадиленской и мансуровской толщ. Широкое распространение здесь получает пренит, в меньшей степени пумпеллиит. Таким образом, ранне- и среднедевонские песчаники изменены до стадии позднего катагенеза, (пренит-пумпеллиитовая фация). Принадлежность южноуральских пумпеллиитов к названной минеральной фации доказывает и химизм этих минералов: на тройной диаграмме Al–Mg– $\Sigma$ Fe (Fe\*) (Cho, 1991) они попадают в пределы пренит-пумпеллиитовой зоны. На основе химизма можно утверждать, что южноуральские пумпеллииты являются низкотемпературными.

В некоторых образцах песчаников ирендыкской свиты обнаруживается слюда 2M<sub>1</sub>, наряду с 1М модификацией, что приближает эти породы уже к позднему этапу стадии глубокого катагенеза или к стадии метагенеза. С таким выводом согласуются присутствие диккита и кристаллизация эпидота, в том числе и по прениту, и широкое развитие пумпеллиита. Наличие шахматного альбита, вероятно, также может служить признаком высокой степени катагенеза или начала метагенеза (Япаскурт, 2008). Кроме того, для этих песчаников характерно развитие регенерационных каемок и бластез кварцевых зерен. Последний указывает уже на раннеметагенетическую стадию (Япаскурт, 2008). Таким образом, граувакки ирендыкской свиты претерпели наиболее высокую степень изменения, хотя их положение не самое низкое в разрезе девонских отложений. Вероятнее всего, такая ситуация обусловлена влиянием тектонических процессов, приводивших к повышению температуры и давления, и воздействием флюидных эманаций.

Для граувакк Магнитогорской мегазоны в целом характерна кристаллизация Mg-Fe хлоритов, независимо от уровня преобразования. На существование такого процесса в свое время указывали Г.В. Карпова (1972), В.А. Дриц и А.Г. Коссовская (1984, 1991). На связь Fe-Mg-хлоритов с преобразованной базальтовой пирро- и гиа-локластикой обращают внимание также Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис (2009). Следовательно, наличие этих минералов закономерно и не может служить признаком уровня

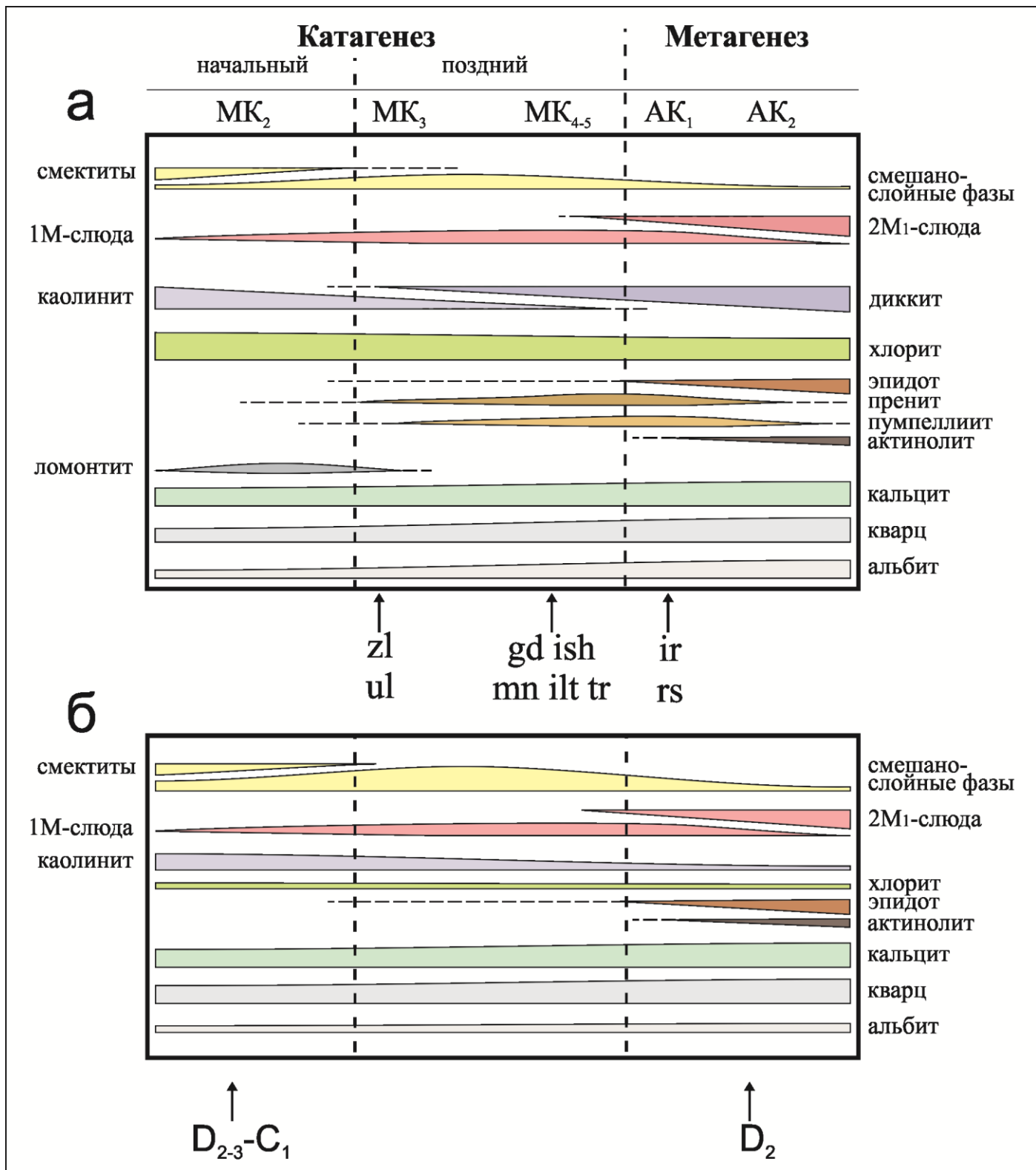


Рисунок 3. Схема распространения аутигенных минералов на разных стадиях постдиагенетического преобразования песчаников: а – Магнитогорская мегазона, б – Боровская зона

фонового катагенеза. Однако, незначительная тенденция увеличения железистости хлоритов в более измененных породах прослеживается.

Отличительной чертой южноуральских граувакк является практически полное отсутствие цеолитов, хотя состав этих пород и уровень катагенеза вроде бы должны способствовать их кристаллизации (Coombs., 1960; Коссовская, 1962). Г.А. Ми-



зенс (Мизенс, Клещенок, 2005) обращает внимание, что кристаллизация этой группы минералов происходит лишь там, где много карбонатного материала, обеспечивающего соответствующую среду. В недостаточно щелочной среде цеолиты активно замещаются глинистыми минералами. Отсутствие цеолитов в песчаниках Боровской зоны, возможно, объясняется и наличием каолинита, поскольку, эти два минерала формируются в различных условиях (минералы-антагонисты). Кроме того, до температур 200–300 °С и давлении порядка 2–3 кбар цеолиты не являются термодинамически стабильными (Петрова, Сендоров, 1990). В этой группе минералов ломонтит наиболее стабилен, поэтому его присутствие более вероятно, что мы и наблюдаем в некоторых частях разреза песчаников зилаирской серии.

Большинство исследователей, основываясь на широко распространенных классификациях фаций метаморфизма (например, Coombs, 1960; Винклер, 1969; Мияси-ро, 1976; Yardley, 1991), считают, что присутствие пренита и пумпеллиита указывает на температуры преобразования порядка 300–400 °С при давлении в 1–6 кбар. В то же время, по данным исследователей из США (Liou et al., 1985), кристаллизация этих минералов происходит уже при значительно более низких параметрах среды. Они экспериментально доказали, что пренит-пумпеллиитовая фация имеет более широкие границы. Кроме того, присутствие пренита и пумпеллиита и местами даже минералов группы эпидота не исключается и в пределах цеолитовой фации.

На основе этих данных ассоциация аутигенных минералов в песчаниках зилаирской серии и улутауской свиты согласуется с таковой, характерной для цеолитовой фации. В то же время присутствие пренита, хлорита, в меньшей степени пумпеллиита и локальный ломонтит (в песчаниках зилаирской серии), указывают, что степень преобразования песчаников близка к границе цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций, которой соответствует температура порядка 150–180 °С, а по увеличению магнезиальности хлоритов (хотя и небольшому) и полному отсутствию минералов группы цеолитов граувакки улутауской свиты соответствуют уже верхней части пренит-пумпеллиитовой фации.

Граувакки мансуровской, ильтибановской, ишкининской, туратской и гади-левской толщ характеризуются обилием хлорита, пренита, присутствием пумпеллиита, местами эпидота. Данная ассоциация отвечает температурам 180–230 °С. Появление актинолита в связи с пренитом, эпидотом, хлоритом, альбитом в ирендыкских и рыскужинских породах указывает на приближение к границе пренит-пумпеллиитовой и пренит-актинолитовой фаций, соответствующей 340 °С.

Степень преобразования пород Боровской зоны более низкая, в основном соответствующая стадии начального катагенеза. Здесь песчаники характеризуются менее зрелой ассоциацией глинистых минералов. Постоянно встречаются смектиты, распространены также смешанослойные фазы монтмориллонит-иллит. Кроме того, обычным является каолинит. Досреднедевонские песчаники (скв. ВК-37) изменены значительно сильнее. Глинистые минералы здесь представлены преимущественно слюдой модификации 2M<sub>1</sub>, присутствуют также минералы группы монтмориллонита и каолинит; диккит не обнаружен; иногда фиксируется хлорит. Таким образом, ассоциация глинистых минералов в песчаниках Боровской зоны, несмотря на сходный состав аллотигенных компонентов, отличается от той, что

типична для псаммитов Магнитогорской мегазоны. Ее скорее можно отнести к каолинит-гидрослюдистой, по Г.В. Карповой (1972). Неизменной составляющей этой ассоциации является монтмориллонит. Хлорит присутствует в виде незначительной примеси. По представлениям многих авторов (Дриц, Коссовская, 1984; Котельников и др., 2009), эволюция монтмориллонитов может идти двумя путями. При наличии в растворе необходимого количества катионов Fe и Mg монтмориллонит через смешанослойные фазы переходит в хлорит, что, по-видимому, относится к южноуральским породам. При наличии катионов K преобразование этого минерала идет до иллитов, что мы здесь и наблюдаем. Отсутствие хлоритов может быть связано и со средой осадконакопления. Как известно (Котельников и др., 2009), хлориты кристаллизуются в относительно закрытой среде в восстановительной обстановке. Повышение кислотности и развитие окислительной обстановки приводит к разложению исходных фаз на окислы.

Для уточнения уровня вторичных изменений в образцах, содержащих обугленные растительные остатки, была определена отражательная способность витринита (анализы выполнены в Испытательном центре ФГУП «ВУХИН», г. Екатеринбург; аналитик Д.Д. Журавлева). В нижневизейских отложениях в скважине КУ-1 по пяти образцам фиксируется уровень градации МК<sub>2</sub>. В то же время два образца из этой же скважины преобразованы до уровня МК<sub>3</sub> и даже АК<sub>1</sub>. Полученные данные свидетельствуют, что в некоторых случаях степень катагенеза витринита может увеличиваться по локальным причинам, например, по проявлениям тектонического стресса в каких-то зонах, и не отражать общее состояние.

Таким образом, на основе анализа ассоциации аутигенных минералов можно сделать вывод, что степень преобразования песчаников D<sub>2-3</sub> и C<sub>1</sub> Боровской зоны соответствует стадии начального катагенеза (МК<sub>2</sub>), в то время как досреднедевонские песчаники (скв. ВК-37) преобразованы значительно сильнее и достигли уровня метагенеза (АК<sub>2</sub>).

## ГЛАВА 7. НАЛОЖЕННЫЙ КАТАГЕНЕЗ

7.1. ВЛИЯНИЕ ФЛЮИДНЫХ ЭМАНАЦИЙ И ЛОКАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФОНОВЫЙ КАТАГЕНЕЗ. Как было показано выше, на некоторых участках разреза *Боровской зоны* встречается аномальный набор вторичных минералов, что не согласуется с вырисовывающейся общей картиной постдиагенетических преобразований. Так, лишь в одном образце нижневизейских песчаников встречены выделения клиноптилолита и натролита. В то же время состав аллотигенных компонентов этого песчаника не отличается от выше- и нижележащих образований. В этом же образце (так же, как в некоторых других случаях) присутствуют гнезда и микроскопические вкрапленники сфалерита. В порах по всему разрезу встречается пирит и халькопирит, иногда минералы титана. В карбонатах и песчаниках местами присутствуют небольшие агрегаты флюорита. В глинистых породах и песчаниках в визейской части разреза нередко выделения барита и целестина, как в виде отдельных кристаллов и агрегатов, вкрапленных в породе, так и агрегатов, выполняющих пустоты, а иногда и трещины. Характерно наличие пятнистого

кальцитового цемента, каолинита в составе цемента и в порах, кристаллов ангидрита, появляющихся местами в виде порового и пойкилобластового цемента в песчаниках, а также в карбонатах.

В *Магнитогорской мезазоне* наложенные процессы носят несколько другой характер. Несмотря на устойчивый состав аллотигенных компонентов, иногда в рядом расположенных разрезах или участках наблюдается резко различная насыщенность аутигенными минералами (пренином, пумпеллиитом, минералами группы эпидота, кварцем). Особенно характерны в этом отношении песчаники западных разрезов ирендыкской свиты и рыскужинской толщи, измененные до стадии метатенеза, тогда как стратиграфически более древние образования (ильтибановская и мансуровская толщи) менее изменены. В составе улутауской свиты (например, в нижнем течении р. Таналык) и ильтибановской толщи (р. Урал напротив с. Ильтабаново) встречаются зоны с резко повышенным содержанием пренита и пумпеллиита. В том числе в песчаниках улутауской свиты обнаружены ориентированные цепочки светлых изометричных пятен диаметром до нескольких миллиметров, сложенных в основном пренином. Вдоль упомянутых цепочек отмечается также насыщение породы пумпеллиитом. В верхней части ирендыкской свиты (у оз. Кара-Балык-Ты), как и в песчаниках ильтибановской толщи и улутауской свиты, часто встречаются прерывистые и сплошные полосы, обогащенные пренином. О влиянии наложенных процессов свидетельствует также неравномерное распределение кальцита и аутигенного кварца. В пределах однородных толщ девонского разреза Магнитогорской мезазоны насыщенность пород этими минералами может значительно варьировать: от первых процентов до 10-12% (кварц) и 15-25% (кальцит).

7.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ НАЛОЖЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ. Специфика аномальной составляющей новообразований в граувакках *Боровской зоны* вероятно объясняется миграцией растворенного материала с сероводородными водами пластового типа. Данное проявление наложенных процессов, вероятно, относится к катагенетической аномалии типа «просвечивания» (Предтеченская, 2011). Точечная и локальная кристаллизация сфалерита, халькопирита, пирита, барита, а также цеолитов и других минералов может быть объяснена переносом соответствующих элементов нефтяными флюидами (Мизенс, Кокшина, 2012). Об этом свидетельствует постоянное присутствие битумного вещества в порах, а также в виде пленок по поверхностям многочисленных стилолитов и парастилолитов в карбонатах. Миграция растворенных металлов во многом обеспечивается также пластовыми сероводородными водами нефтяного типа (Старостин, Соколов, 1998). Осаждение указанных металлов происходит на пути движения вод на геохимических барьерах, вызванных резкими изменениями Eh-pH в среде в связи с воздействием на породы УВ флюидов (Предтеченская, 2011). При этом рудные компоненты частично извлекаются из терригенных минералов и органических соединений в процессе трансформации органического и глинистого вещества. Следовательно, в условиях катагенеза рудные элементы активно перераспределяются, среди них Pb, Zn, Cu и др. (Курило, 1993). С миграцией флюидов из зон, обогащенных углеводородами, связывают кристаллизацию карбонатов и каолинита (Розин, Сердюк, 1970; Перозио, 1971; Предтеченская и др., 2009). Дж. Боулс (Boles, 2002) установил, что кальцит может служить

индикатором вертикальных движений флюидов в УВ системах. Кроме того, как утверждают Р. Перез с Дж.Боулсом (Perez, Boles, 2005) и М. Апполд с соавторами (Appold, et al., 2007) для образования зон с новообразованным кальцитовым цементом недостаточно только присутствия УВ, важно также и существенное влияние рядом расположенных разломов, служащих источником энергии. Для территории Боровской зоны достаточно характерны тектонические нарушения различного масштаба, поэтому можно предположить, что с ними и связаны встречающиеся там аномалии. Таким образом, аномальные участки этой зоны являются кахигенными, т.е. обусловленными перераспределением и локализацией УВ в тектонически-активных зонах (Предтеченская, 2011; Розин, Сердюк, 1970).

Катагенетические аномалии в песчаниках *Магнитогорской мегазоны* так же могут рассматриваться, как в определенной мере спровоцированные дизъюнктивными нарушениями. Здесь, однако, разломы в первую очередь являлись проводниками энергии, способствующей более глубокому преобразованию пород. В отличие от Боровской зоны, на Урале не встречены атипичные аутигенные минералы, однако, для характерных минералов свойственно неравномерное распределение. Возможно, оно, в некоторых случаях, связано с зонами дилатантного предразрушения (Белкин, Медведский, 1987), появление которых вызвано местным стрессовым давлением. Кроме того, внедрение флюида по уже «проторенному пути» является закономерным (Галкин, 1993): первичное просачивание проходит по границам зерен и по микротрещинам, растворение здесь происходит интенсивнее, что приводит к расширению зоны интенсивной фильтрации, – вероятно с этим процессом связано образование отдельных не пересекающихся зон насыщенного заполнения аутигенными минералами. Существенное влияние на облик породы мог оказать и гидрогенный режим, обеспечивший, в том числе, неоднородное распространение 1М-слюды, которая, вероятно, вымывалась вместе с поступающими растворами. Кроме того, присутствие сложного эндотаксического хлорит-иллитового агрегата, кристаллизующегося по биотиту, вероятно указывает на колебание ионного состава поступающего раствора.

Следует отметить, что приведенная выше классификация катагенетических аномалий является не единственной и довольно частной; альтернативный и более общий вариант, учитывающий масштаб, включающий типы и подтипы литогенеза, разработан О.В. Япаскуртом (2005). По данной классификации, оба типа рассмотренных наложенных преобразований попадают в локальный – гидротермально-метасоматический. Данный тип изменений характеризуется «регрессивно-эпигенетическими изменениями пород (каолинитизацией, карбонатизацией, монтмориллонитизацией и др.), практически не сказывающимися на степени углификации ОВ» (Япаскурт, 2005, с 15). Подобные изменения О.В. Япаскурт связывает с участками повышенной трещиноватости, с разрывами с раздвиговой составляющей и др. Таким образом, природа подобных атипичных наложенных преобразований в любом случае связана с поступлением флюидов и энергии по тектоническим зонам, в меньшей степени подобные изменения обусловлены характером гидрогенного (промывного) режима.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены следующие результаты.

- Уточнена петрографическая характеристика песчаных отложений девона Магнитогорской мегазоны и девонско-нижнекаменноугольного разреза Боровской зоны. В том числе, показано, что для всех этих комплексов характерны петрокластические граувакки.

- Установлено, что в составе рассматриваемых граувакк присутствуют ассоциации аутигенных минералов, характеризующих условия постдиагенетических изменений. Прежде всего, это кварц, карбонаты, глинистые минералы, прениты, пумпеллиты, эпидоты, цеолиты, различные сульфиды, сульфаты. Для некоторых из них выявлены типоморфные особенности, различные для разных стадий кристаллизации и условий изменения пород.

- Показано, что наиболее чувствительными минералами-индикаторами процессов фоновых катагенеза граувакк Магнитогорской мегазоны являются пренит, пумпеллит, эпидот и некоторые глинистые минералы. В результате их изучения (с учетом всего спектра новообразованных минералов) было установлено, что породы улутауской ( $D_{2-3}$ ) и зилаирской ( $D_3$ ) свит преобразованы до начала позднего катагенеза (примерно  $МК_3$ ); мансуровские, ильтибановские ( $D_1$ ), ишкининские, туратские ( $D_{1-2}$ ) и гадилевские ( $D_2$ ) граувакки соответствуют позднему катагенезу (примерно  $МК_{4-5}$ ); породы рыскужинской толщи ( $D_1$ ) и ирендыкской ( $D_{1-2}$ ) свиты трансформированы до стадии начала метагенеза ( $АК_1$ ). Кроме того, наличие соответствующих минеральных ассоциаций позволило выделить фации на уровне позднего катагенеза: ломонитовую (зилаирская свита), пумпеллит-пренитовую (мансуровская, ильтибановская, ишкининская, гадилевская толщи и туратская свита) и пренит-кварц-пумпеллитовую (ирендыкская свита и рыскужинская толща). Но при этом следует иметь в виду, что собственно ломонит в составе одноименной фации встречается не везде, такая фация выделяется в известной степени локально. Отложения улутауской свиты относятся нами к пограничной области между ломонитовой и пумпеллит-пренитовой фациями.

- Верхнедевонские и нижнекаменноугольные песчаники Боровской зоны характеризуются менее зрелой ассоциацией аутигенных минералов – преобразования пород соответствуют начальному катагенезу ( $МК_2$  по отражательной способности витринита). Досреднедевонские песчаники на этой территории (скв. ВК-37) напротив, изменены значительно сильнее, уровень их преобразования достиг метагенеза.

- Состав, характер распределения и особенности аутигенных минералов в палеозойских песчаниках северной части Боровской зоны и, в меньшей степени, в песчаниках Магнитогорской мегазоны свидетельствует о влиянии флюидов (в том числе глубинных) на процессы их формирования. Аномальные участки Боровской зоны, скорее всего, относятся к кахигенными аномалиям «просвечивания», по (Предтеченская, 2011). Для пород Магнитогорской мегазоны более характерны проявления наложенных процессов, связанных со стрессовым литогенезом, т.е., аномалии, спровоцированные дизъюнктивными нарушениями. По классификации О.В. Япаскурта (2005), оба случая относятся к «локальному – гидротермально-метасоматическому типу».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *В журналах по списку ВАК:*

1. *Кокшина Л.В.* Глинистые минералы в цементе палеозойских граувакк: Магнитогорская мегазона (Южный Урал) и Боровская зона (юго-запад Западной Сибири) // **Литосфера**. 2012. № 2. С. 33–42.
2. Мизенс Г.А., *Кокшина Л.В.* Петрографическая характеристика девонских и нижнекаменноугольных терригенных образований юго-запада Западно-Сибирской плиты (Вагай-Ишимская и Тобол-Убаганская структуры) // **Геология и геофизика**. 2012. № 11. С. 1513–1529.
3. *Кокшина Л.В.* Особенности катагенеза девонских петрокластических граувакк Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // **Литосфера**. 2013. № 5. С. 26–41.

### *В других журналах и изданиях:*

1. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. О постдиагенетических изменениях средне-верхнепалеозойских граувакк юга Урала // Верхний палеозой России: стратиграфия и фациальный анализ: материалы Второй Всероссийской конференции. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2009. С. 54–56.
2. *Кокшина Л.В.* Пренит и пумпеллит как индикаторы глубокого катагенеза петрокластических граувакк (на примере среднепалеозойских отложений Восточного склона Южного Урала) // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. Том I. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. С. 109–111.
3. Мизенс Г.А., *Кокшина Л.В.* Условия осадконакопления в среднепалеозойских бассейнах на юго-западе Западной Сибири (зона сочленения уральских и казахстанских структур) // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: Материалы II Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, Тюмень, 27-29 апреля, 2010. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. С. 111–113.
4. *Кокшина Л.В.* Пренит и пумпеллит как индикаторы глубокого катагенеза петрокластических граувакк среднепалеозойских отложений восточного склона Южного Урала // Ежегодник-2009, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 157, 2010. С. 138–141.
5. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. О влиянии флюидов на процессы катагенеза в петрокластических граувакках (на примере Южного Урала и Курганского Зауралья) // Актуальные вопросы литологии. Материалы 8 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 136–138.
6. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Некоторые особенности катагенеза палеозойских петрокластических граувакк востока Южного Урала и Зауралья // Минеральные индикаторы литогенеза. Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 205–207.
7. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Аутигенные минералы и характер постседиментационных преобразований песчаников доюрского фундамента на юго-западе Западно-Сибирской плиты // Концептуальные проблемы литологических исследований в России. Материалы 6-го Всероссийского литологического совещания. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2011. Том I. С. 372–375.
8. Мизенс Г.А., *Кокшина Л.В.* Петрографические особенности терригенных толщ доюрского фундамента на юго-западе Западно-Сибирской плиты и возможные источники обломочного материала // Концептуальные проблемы литологических исследований в России. Материалы 6-го Всероссийского литологического совещания. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2011. Том II. С. 41–44.
9. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. О характере постседиментационных преобразований в верхней части палеозойского фундамента на юге Западно-Сибирской плиты // Ежегодник-2010, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 158, 2011. С. 56–60.
10. *Кокшина Л.В.* Глинистые минералы в цементе палеозойских граувакк Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст., вып. 15. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-та, 2012. С. 121–128.
11. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Бентониты в палеозойском разрезе Боровской зоны (юго-запад Западной Сибири) // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах. Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 98–101.
12. *Кокшина Л.В.* Катагенез девонских петрокластических граувакк Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований. Материалы 9 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 66–68.

13. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Bentonites в карбоне Боровской зоны (юго-запад Западной Сибири) // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований. Материалы 9 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 69–71.
14. Мизенс Г.А., *Кокшина Л.В.* Глинистые породы в палеозойском разрезе Боровской зоны (юго-запад Западной Сибири) // Ежегодник-2011, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 159, 2012. С. 40–45.
15. *Кокшина Л.В.* Некоторые особенности аутигенных хлоритов в петрокластических граувакках Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Ленинградская школа литологии. Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина. Том I. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. С. 200–202.
16. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Следы флюидного катагенеза в палеозойских граувакках Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) и Боровской зоны (юго-запад Западной Сибири) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст., вып. 16. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. иссл. ун-та, 2013. С. 183–189.
17. *Кокшина Л.В.* Аутигенные карбонаты в девонских петрокластических граувакках Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XVII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. С. 118–120.
18. *Кокшина Л.В.*, Мизенс Г.А. Влияние флюидных эманаций на фоновый катагенез палеозойских граувакк: Магнитогорская мегазона (Южный Урал) и Боровская зона (юго-запад Западной Сибири) // Ежегодник-2012, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 160, 2013. С. 48–52.
19. *Кокшина Л.В.* Пумпеллит в девонских петрокластических граувакках восточного склона Южного Урала // Вестник УрО РМО. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 47–54.
20. *Кокшина Л.В.* Наложенный катагенез палеозойских граувакк Боровской (юго-запад Западной Сибири) и Магнитогорской (Южный Урал) структур // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Материалы VII Всероссийского литологического совещания. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. Том II. С. 23–27.
21. *Kokshina L.*, Mizens G. Diagenesis of Paleozoic bentonites in South-West part of Western Siberia // Глины, глинистые минералы и слоистые материалы – СМЛМ2013. СПб.: Издатель "Фалкон Принт". 2013. С. 64.

---

Подписано в печать 15.11.2013 г. Формат 60 x 84 1/16.  
Бумага "Гознак". Печать на ризографе. Уч.-изд. л. 1,0.  
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 554

---

Отпечатано в типографии ООО "ИРА УТК".  
620146, г. Екатеринбург, ул. Шаумяна, 83 Тел. 269-18-83