

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

РЫБИН Илья Валерьевич

**УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ В УГОЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА**

25.00.11 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолога – минералогических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-
минералогических наук, профессор, профессор
кафедры месторождений полезных ископаемых

Труфанов Вячеслав Николаевич

Ростов-на-Дону

2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР И АНАЛИЗ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ, ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	23
2.1 Полевые работы	23
2.2 Методика отбора и основные принципы обработки проб	23
2.3 Минералого-петрографические исследования	24
2.4 Специальные аналитические методы исследований	25
2.4.1 Электронная растровая микроскопия	25
2.4.2 Рентгеноструктурный анализ	26
2.4.3 Приближенно-количественный спектральный анализ	26
2.5 Термобарогеохимические исследования (оптическая микроскопия, вакуумная декриптометрия, газовая хроматография)	27
2.5.1 Оптико-микроскопические исследования флюидных включений	27
2.5.2 Метод вакуумной декриптометрии и энергетический анализ систем «минерал-порода-флюид»	31
2.5.3 Газовая хроматография систем «минерал-порода-флюид»	35
2.6 Определение качества пород для кирпича	37
2.7 Определение фильтрационных свойств	37
2.8 Автоклавное моделирование процессов трансформации кварц-углеродистых метасоматитов	37
2.8.1 Теоретические основы метода	39
2.8.2 Описание автоклавной установки БАР-1М	40
2.8.3 Программа и методика экспериментов на БАР-1М	43
2.8.3.1 Программа экспериментов на БАР-1М	43
2.8.3.2 Методика экспериментальных работ	44
3. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ	48
3.1 Общая характеристика геологического строения Восточного Донбасса	48
3.1.1 Стратиграфия	48
3.1.2 Тектоника	55
3.2 Общая характеристика геологического строения районов развития кварц-	60

углеродистых метасоматитов	
3.2.1 Сулино-Садкинский район	60
3.2.2 Краснодонский район	63
3.2.3 Тацинский район	65
3.3 Геологическое строение кварц-углеродистых метасоматитов в зонах флюидизации углепородных массивов	68
3.3.1 Кварц-углеродистые метасоматиты в углепородных массивах	68
3.3.2 Минералого-петрографическое описание кварц-углеродистых метасоматитов	72
4. ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ	80
4.1 Морфогенетические типы включений кварц-углеродистых метасоматитов	80
4.2 Термобарогеохимические условия формирования и структурные особенности кварц-углеродистых метасоматитов	85
5. АВТОКЛАВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ В ТЕРМОБАРОГРАДИЕНТНЫХ УСЛОВИЯХ	103
5.1 Стационарный режим	103
5.2 Режим «обратный» взрыв	119
5.3 Режим дресселирования	125
6. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА	140
6.1 Генетическая типизация кварц-углеродистых метасоматитов на примере Восточного Донбасса	140
6.2 Перспективы комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	149

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На угольных месторождениях Восточного Донбасса измененные в процессе геологической истории породы угленосной толщи из зон нарушений и разубоживания угольных пластов могут квалифицироваться как «кварц-углеродистые метасоматиты», т.к. на их образование повлияли флюиды¹ процессов флюидизации².

Поскольку кварц-углеродистые метасоматиты в значительных количествах складируются в терриконах и часто обогащены ценными макро+микроэлементами, вопросы их комплексного использования приобретают значительную актуальность.

Как известно, наличие зон нарушений в породах угленосной толщи осложняет ведение горнодобывающих работ, ведет к внезапным выбросам пород и метана, взрывам и подземным пожарам и в конечном счете - к человеческим жертвам среди шахтеров. Еще и поэтому изучение минералого-геохимических особенностей и газоносности измененных в зонах разломов и трещиноватости пластов углей и вмещающих пород, условий их преобразования в процессе геологической истории, чрезвычайно актуально (Рыбин И.В., Гамов М.И., Мещанинов Ф.В. 2014).

Степень разработанности темы исследования. За более чем полувековой период, с начала 60-х годов прошлого века в Ростовском государственном университете и затем в Южном федеральном университете проводятся комплексные исследования флюидных включений в минералах, направленные на установление генезиса месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых и оценку перспектив их комплексного использования в различных отраслях промышленности и в общеобразовательном процессе при подготовке специалистов горных инженеров.

¹ **Флюид** — существенно жидкая, газовой-жидкая или газовая среда, образованная в разных пропорциях летучими компонентами (H₂O, CO₂, CO, N₂, H₂, CH₄ и др. углеводородами) в соединении с петрогенными, рудными и иными элементами и заключенная или переносимая в массе горных пород литосферы.

² **Флюидизация** [Reynolds D.L., 1954; **fluidization**] - процесс, при котором газ проникает через твердую г. п., как правило, слабо сцементированную, увлекая за собой ее частицы. Ф. ведет к разжижению диспергированного твердого материала, приобретающего текучесть (нередко в пром. процессах, а также при вулканич. извержениях и импактных взрывах). Флюидизированная система газ - твердые частицы может течь, переносить крупные обломки, внедряться в окружающие толщи. Ф. может происходить также при вибрации системы (*акустическая флюидизация*). В первом случае система является двухфазной — твердое + газ, во втором система остается однофазной, *флюид* в ней не участвует. Иногда Ф. рассматривается как процесс проникновения жидкости в пористые п. или осадки, в результате чего система может приобрести способность к перемещению под воздействием силы тяжести или в условиях градиента давления.

Наиболее значимые результаты получены в области исследований флюидных включений в минералах, породах и рудах Большого Кавказа и Восточного Донбасса, итогом которых является концепция углеводородной флюидизации ископаемых углей и вмещающих пород, а также создание эффективных технологий глубокой переработки новых и нетрадиционных видов минерального сырья. На основе этих исследований сложилось новое научное направление: «Молекулярная термобарогеохимия и экспериментальная геотехнология».

Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса изучены в этом отношении недостаточно. Фактически они предварительно исследовались только в работах А.Б.Гончарова, П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой, а с общетеоретических позиций – в работах ведущих литологов (Япоскурт, Фролов и др.)

Автором настоящей работы продолжены исследования этих специфических природных объектов как новых видов минерального сырья для получения нерудных материалов и извлечения промышленно важных цветных, редких и благородных металлов.

Основным направлением исследований является установление закономерностей формирования кварц-углеродистых метасоматитов и оценка перспектив их практического использования на основе комплексных геолого-структурных, термобарогеохимических и автоклавных методов исследований природных систем «минерал-порода-флюид».

Цель работы – установление условий формирования кварц-углеродистых метасоматитов, их потенциальной рудоносности в угольных месторождениях Восточного Донбасса, и перспектив их комплексного использования как нового вида минерального сырья.

Задачи исследований:

- 1) Установление геолого-структурных и термобарогеохимических условий формирования кварц-углеродистых метасоматитов в зонах флюидизации углепородных массивов на угольных месторождениях Восточного Донбасса и их генетическая типизация;
- 2) Определение минералого-петрографических особенностей кварц-углеродистых метасоматитов, в т.ч. потенциально рудоносных;
- 3) Оценка перспектив комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов как нового вида минерального сырья, в том числе путем проведения автоклавного моделирования процессов деструкции потенциально рудоносных метасоматитов для оценки возможности экстракции из них ценных макро+микроэлементов.

Научная новизна. Автором впервые для Восточного Донбасса:

- установлено, что в зонах нарушений и трещиноватости угленосных толщ Восточного Донбасса в результате флюидизации углепородных массивов образовывались, при температурах от 540⁰С до 40⁰С и давлениях в пределах 200-5МПа, под воздействием на угли и углевмещающие породы высококонцентрированных восстановленных и окисленных флюидов,

кварц-углеродистые метасоматиты нескольких генетических типов с определенными структурно-фазовыми, минералогическими и химическими характеристиками. На основе этих условий выделены генетические типы метасоматитов, а именно, псевдолидиты, псевдофтаниты, кварцевые гидротермалиты и псевдокварцолиты;

- установлено, что фазовые переходы ($\alpha \rightarrow \beta$ переход в кварце, выделение клатратных соединений) и процессы деструкции систем «уголь-порода-флюид» в термобароградиентных условиях влияют на подвижность элементов в рудогенерирующих системах и проявляются в интенсивном выщелачивании макро+микроэлементов и осаждении цветных, редких и благородных металлов на запирающих и дроссельных мембранах автоклавной установки БАР-1М, что свидетельствует о возможности их прямого извлечения из кварц-углеродистых метасоматитов.

- выделены основные виды возможного практического применения кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса для отраслей промышленности, а именно для производства фильтрующих материалов подходят псевдолидит и псевдокварцолит, в качестве добавок для кирпичного сырья пригодны все метасоматиты, как пробирный камень следует использовать псевдолидит и псевдофтанит, для получения сажистого углерода можно использовать материал после автоклавной переработки псевдолидита и псевдофтанита, для изготовления фоамсила (пеностекла) можно использовать псевдокварцолит.

- определены поисковые критерии выявления углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, а именно, геолого-структурные (зоны углеводородной флюидизации), литологические (для псевдолидитов – аргиллиты, для псевдофтанитов – алевролиты, для псевдокварцолитов – песчаники), минералого-петрографические (резорбция и грануляция минералов, замещение минералов), геохимические (высокие и определенные суммарные содержания макро+микроэлементов), термобарогеохимические (высокие полимодальные декриптограммы). Эти критерии могут быть также использованы при прогнозе неблагоприятных ситуаций (участков угольных пластов, опасных по внезапным выбросам газа и породы).

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены поисковые критерии выявления метасоматитов - нового вида минерального сырья угольных месторождений, которые могут быть использованы при их прогнозировании. Эти критерии могут быть использованы при прогнозе неблагоприятных ситуаций (участков угольных пластов, опасных по внезапным выбросам газа и пород). Впервые проведена оценка возможностей практического использования кварц-углеродистых метасоматитов. Их можно использовать для изготовления пробирного камня, сажистого углерода, фоамсила, кирпича, фильтрующего материала. На основе проведенных экспериментов показана также возможность

извлечения из метасоматитов цветных, редких и благородных металлов в условиях «обратного» взрыва. Это отображается в патенте на изобретение №2542202 Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья, авторами которого являются А.В. Труфанов, В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, И.В. Рыбин, В.Г. Рылов (Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Гамов М.И. и др. 2015).

Методология и методы исследований. В основу работы положен большой полевой и экспериментальный материал, полученный автором в период с 2010 по 2013 гг., использованы оригинальные методики, используемые при выполнении государственного контракта «Разработка метода экстракции полезных компонентов из отходов добычи и переработки угля (Госконтракт № 16.515.12.5008, 2011 – 2012 гг.)» и внутреннего гранта ЮФУ «Теоретическое и экспериментальное обоснование автоклавных методов извлечения элементов-примесей и высокоуглеродистых продуктов из отходов добычи и переработки угля и других видов минерального сырья» (Рег. №НИР 213.01-24/2013-86).

При выполнении полевых работ с участием автора производился отбор проб с учетом геолого-структурных особенностей флюидоактивных зон, выделяемых в углепородном массиве. Всего было отобрано, задокументировано и изучено по Тацинскому, Краснодонецкому и Сулино-Садкинскому районам Восточного Донбасса 272 пробы, из них 49 проб углей, 98 проб вмещающих пород и 125 проб кварц-углеродистых метасоматитов. По Тацинскому району было отобрано всего 75 проб, из них 14 проб углей, 28 проб вмещающих пород и 33 пробы кварц-углеродистых метасоматитов. По Краснодонецкому району было отобрано всего 77 проб, из них 12 проб углей, 24 пробы вмещающих пород и 41 проба кварц-углеродистых метасоматитов. По Сулино-Садкинскому району было отобрано всего 120 проб, из них 23 пробы угля, 46 проб вмещающих пород и 51 проба кварц-углеродистых метасоматитов. Из отобранных проб изготавливались пластинки, шлифы, аншлифы и протолочки, а затем проводились их исследования с целью описания генетических типов включений, минералого-петрографических особенностей пород и структуры в целом.

Лабораторные и экспериментальные исследования включали минералого-петрографические, электронно-микроскопические, спектральные, рентгеноструктурные и термобарогеохимические методы анализа минерального сырья, а также проведение опытов по моделированию процессов трансформации кварц-углеродистых метасоматитов в термобарогradientных условиях «обратного» взрыва (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014).

Анализы выполнялись автором в сертифицированных лабораториях центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный

университет» Института Наук о Земле ЮФУ, а также в РЛЦ ПГО «Южгеология» и ВСЕГЕИ. Всего было выполнено 260 оптико-микроскопических, 130 электронно-микроскопических, 78 спектральных, 78 рентгеноструктурных, 260 вакуумно-декриптометрических и 260 газово-хроматографических анализов, проведено 78 опытов по автоклавному моделированию фазовых переходов в системах «уголь-порода-флюид» и извлечению макро+микроэлементов.

Автоклавное моделирование процессов деструкции, фазовых переходов и экстракции макро+микроэлементов с выделенными типами пород осуществлялось используя установку БАР-1М. Выполнялись термобарогеохимические анализы всех проб до автоклавного моделирования и после него, используя вакуумный декриптограф ВД-5 и газовый хроматограф ЛХМ-80. После автоклавного моделирования под биноклем изучались пробы и мембраны, с дальнейшим выделением из последних наиболее интересных участков для электронной микроскопии, проводимой с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA Tescan LMU II с системами энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT с беззотным детектором X-Act ADD и волнодисперсионного микроанализа INCA WAVE 700 OXFORD Instruments Analytical 5 в ЦКП «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» ЮФУ. В отдельных пробах до автоклавного моделирования и после него изучались формы нахождения SiO_2 методом рентгеноструктурного анализа на приборе ДРОН-7, а также выделенные пробы до автоклавного моделирования и после него подвергались стандартному эмиссионному полуколичественному спектральному анализу на 33 элемента. Проводилось изучение фильтрационных свойств и качественных характеристик для кирпича метасоматитов на основании общих технических условий ГОСТ Р 51641-2000 и ГОСТ 530-2012 соответственно. Полученные результаты обрабатывались с помощью современных компьютерных технологий и специализированного программного обеспечения (Microsoft Excel, CorelDraw и др.).

Автором также собран, изучен и обработан значительный научный литературный фактический материал (статьи, монографии, книги) предыдущих исследователей (Ермаков Н.П.; Долгов Ю.А. 1979; Рёддер Э. 1987; Труфанов В.Н. 1970-2012, Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. 2001, 2005;) и др.

Положения, выносимые на защиту:

1) Кварц-углеродистые метасоматиты, в т.ч. рудоносные, образовывались в зонах тектонических нарушений угольных пластов и вмещающих толщ при воздействии высококонцентрированных восстановленных и окисленных флюидов при температурах от 540°C до 40°C и давлениях 200-5 МПа.

2) На основании минералого-петрографических исследований в угленосной толще Восточного Донбасса выделены четыре основные группы кварц-углеродистых метасоматитов:

псевдолидиды, псевдофтаниты, кварцевые гидротермалиты и псевдокварцолиты, возможно даже потенциально рудоносные.

3) Кварц-углеродистые метасоматиты представляют собой нетрадиционные виды минерального сырья угольных месторождений и могут быть практически востребованы для изготовления пробирного камня, сажистого углерода, фоамсила и других специальных изделий для отраслей промышленности, а потенциально рудоносные метасоматиты – и для получения ценных микроэлементов.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались во Всероссийской молодежной научной школе «Эффективная работа над диссертацией» (Ростов-на-Дону, 2012); на XV Всероссийской конференции по термобарогеохимии (Москва, 2012); на Всероссийской конференции с международным участием «Нетрадиционные ресурсы углеводородов: Распространение, генезис, прогнозы, перспективы разработки (Москва, 2013); на XIII Всероссийском угольном совещании «Основные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ на твердые горючие ископаемые в современных экономических условиях» (Ростов-на-Дону, 2014); на XVI Всероссийской конференции по термобарогеохимии (Иркутск, 2014); на IV Российской молодежной научно-практической Школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 2014); на научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле» (Ростов-на-Дону, 2015). Термобарогеохимическая модель горящего терриконика. на международной конференции молодых ученых стран БРИКС; «Сотрудничество стран БРИКС для устойчивого развития» (Ростов-на-Дону, 2015); на II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле» (Ростов-на-Дону, 2016); на VII Всероссийской школе молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия» (Черноголовка, 2016); на VI Российской молодежной научно-практической Школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 2016).

По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе – 8 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Автором лично проведен отбор и опробование углей, вмещающих пород, кварц-углеродистых метасоматитов. Выполнены комплексные термобарогеохимические исследования углей и пород и выделение генетических типов кварц-углеродистых метасоматитов по геолого-структурным и термобарогеохимическим критериям. Проведены эксперименты по автоклавному моделированию процессов трансформации систем «уголь-порода-флюид» при экстремальных термодинамических условиях с применением автоклавной установки БАР-1М и произведена интерпретация полученных результатов.

Автором также определялись поисковые критерии метасоматитов, оценивались перспективы их комплексного использования.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы (163 наименования). Объем работы - 164 страницы.

Во введении обоснована постановка проблемы и дана общая характеристика работы.

В первой главе дан краткий обзор и анализ предыдущих работ, раскрывается выбор направления исследований.

Во второй главе описана методика проведенных работ и аппаратура аналитических и экспериментальных исследований.

Третья глава посвящена общей характеристике геологического строения Восточного Донбасса, в частности Сулино-Садкинского, Краснодонецкого, и Тацинского геолого-промышленных районов, а также геолого-структурным условиям формирования кварц-углеродистых метасоматитов, геологическому строению зон флюидизации в углепородных массивах, минералого-петрографическим особенностям метасоматитов.

В четвертой главе приводятся морфогенетические типы флюидных включений в указанных породах, термобарогеохимические условия формирования и структурные особенности кварц-углеродистых метасоматитов.

В пятой главе приводится автоклавное моделирование фазовых переходов и процессов деструкции кварц-углеродистых метасоматитов в термобароградиентных условиях.

В шестой главе проводится генетическая типизация и оценка перспектив комплексного использования потенциально рудоносных кварц-углеродистых метасоматитов как нового вида минерального сырья, в том числе путем проведения автоклавного моделирования процессов деструкции метасоматитов для оценки возможности экстракции из них ценных макро+микроэлементов и высокоуглеродистых материалов.

Благодарности. При выполнении полевых работ существенную помощь автору оказали сотрудники кафедры месторождений полезных ископаемых. Постановка и проведение лабораторных исследований осуществлялись автором при содействии Ю.В.Попова, С.В. Левченко, А.В. Наставкина. Автор также выражает признательность А.В.Труфанову, Н.И. Славгородскому, Н.С. Прокопову за помощь в наладке лабораторного оборудования. Автор благодарен за ценные советы, замечания и консультации М.И. Гамову, В.Г. Рылову, Н.В. Грановской, А.А. Гонцову, а также Шаровой Т.В. и Н.И. Перепечаевой за помощь при работе с графическими редакторами. Особую признательность за научное руководство, консультации, помощь и содействие при выполнении работы автор выражает заслуженному деятелю науки РФ, доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры месторождений полезных ископаемых ЮФУ, В.Н. Труфанову.

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ, ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди актуальных научно-технических проблем, сформировавшихся во второй половине XX в., одно из важнейших мест принадлежит проблеме комплексного использования минеральных ресурсов и, в первую очередь, освоению различных нетрадиционных видов месторождений рудных, нерудных и горючих полезных ископаемых. Первостепенное значение приобретают задачи разработки современных, экологически безопасных технологий переработки георесурсов, энергетического и неэнергетического минерального сырья, что обуславливает необходимость проведения фундаментальных теоретических и прикладных исследований, находящихся на стыке наук о Земле, горного дела и других естественно-научных и технологических направлений развития на современном этапе познания.

Одним из таких перспективных новых научных направлений в системе наук о Земле является «Молекулярная термобарогеохимия и экспериментальная геотехнология», которое было заложено в Ростовском государственном университете (ныне Южном федеральном университете) при поддержке ректора РГУ, а затем председателя СКНЦ ВШ, чл.- корр. РАН Ю.А.Жданова с начала 60-х гг. прошлого столетия и, в настоящее время, интенсивно развивается на кафедре месторождений полезных ископаемых Института наук о Земле Южного федерального университета.

Основными объектами исследований этого направления являются флюидные включения в минералах, породах и рудах, которые, по образному определению академика В.И. Смирнова, «являются единственным реальным свидетелем мощных минералообразующих потоков далекого геологического прошлого» (Смирнов В.И., 1969). Базовыми в экспериментальных исследованиях являются методы термобарогеохимии, разработанные ее основателем, доктором геолого-минералогических наук, профессором Н.П. Ермаковым, позволяющие получать объективную информацию о РТХ-параметрах флюидных систем в земной коре, а также различные методы моделирования фазовых взаимодействий в системах минерал (порода) - флюид при этих параметрах.

Главной целью исследований данного направления является теоретическое и экспериментальное моделирование природных процессов минералообразования и рудогенеза при высоких термодинамических параметрах с последующим использованием полученных данных для создания эффективных наукоемких технологий извлечения и переработки различных видов минерального сырья (Рыбин И.В. 2012).

Первый этап становления научного направления связан с проведением в Ростовском государственном университете в 1959 – 1969 гг. исследований в области термобарогеохимии хрусталеносных и редкометальных месторождений Горного Алтая, Центрального и Юго-восточного Казахстана. Первая работа по исследованию газовой-жидких включений хрусталеносных силекситов была опубликована В.Н. Труфановым в Материалах научной студенческой конференции РГУ в 1959 г. (Труфанов В.Н., 1959).

В последующей серии работ этого автора совместно с образовавшейся группой молодых исследователей (Родзянко Н.Г., Куршев С.А., Майский Ю.Г., Голиков-Заволженский И.В., Ушак А.Т. и др.) были опубликованы результаты детальных исследований флюидных включений в минералах пегматитов и редкометальных метасоматитов, где основное внимание уделялось термодинамическим условиям их формирования (Демин В.М., Труфанов В.Н., Куршев С.А. 1965; Труфанов В.Н. Куршев С.А. 1964; Труфанов В.Н. 1969; Труфанов В.Н., Родзянко Н.Г. 1963, 1964).

В это же время изобретены специальные термокамеры и универсальный декриптометр РУД-1 для исследования флюидных включений методами гомогенизации и термозвуковой декриптометрии, а также впервые разработана методика электронной микроскопии для изучения ультрамикроскопических консервантов минералообразующих растворов и расплавов.

Исследования этого этапа завершились защитами кандидатских диссертаций В.Н. Труфановым, Н.Г. Родзянко, О.С. Жамгоцевым, Г.К. Хрусталева, С.А. Куршевым, Ю.Г. Майским, И.В. Голиковым-Заволженским (Жамгоцев О.С. 1967; Куршев С.А. 1967; Майский Ю.Г. 1969; Труфанов В.Н. 1964; Хрусталева Г.К. 1965), основу которых составляют результаты термобарогеохимических исследований, а также созданием лаборатории минералогической термобарометрии при кафедре минералогии и петрографии геолого-географического факультета РГУ (заведующий кафедрой, доктор геолого-минералогических наук, профессор И.А. Шамрай), в состав которой, кроме отмеченных сотрудников, вошли В.М. Демин, А.Г. Грановский, Н.В. Грановская, З.В. Майская.

Второй этап – 1970 – 1984 гг. отличается выполнением большого объема исследований по термобарогеохимии рудных месторождений Большого Кавказа, Восточного Донбасса, Центрального Казахстана, Якутии и других регионов, а также развитием экспериментальных работ по синтезу минералов и экспериментальной геотехнологии обогащения упорных золотых и полиметаллических руд при высоких термобароградиентных параметрах. Были проведены первые эксперименты по автоклавному моделированию процессов минерало- и рудообразования (Труфанов В.Н., Голиков-Заволженский И.В. 1970; Ушак А.Т. 1971; Шамрай И.А., Нетреба А.В., Труфанов В.Н. и др. 1972).

Были созданы уникальные приборы для исследования систем «минерал-порода-флюид» - вакуумные декриптографы типа ВД-3, ВД-4, ВД-5, совмещенные с газовыми хроматографами типа ЛХМ-8МД (Демин В.М., Труфанов В.Н., Куршев С.А. 1971). Экспериментальным опытным производством Ростовского университета было изготовлено и внедрено в лабораториях геолого-минералогического профиля не только нашей страны, но и за рубежом, более 100 таких приборов.

Эти работы приобрели широкий резонанс и получили признание научной общественности, что нашло отражение в организации на базе геолого-географического факультета РГУ в 1974 году Четвертого регионального, а по сути, Всесоюзного совещания по термобарогеохимии (Четвертое региональное совещание по термобарогеохимии минералообразования, 1973).

В отличие от ранее проведенных исследований, сосредоточенных главным образом на изучении индивидуальных флюидных включений, основное внимание было сосредоточено на комплексном исследовании природных и синтезированных систем «минерал-порода-флюид», включающих разнообразные формы нахождения флюидных компонентов в твердом теле.

Такой принципиально новый подход к пониманию объектов термобарогеохимии потребовал разработки научных основ методики расшифровки генетической информативности этих систем, их энергетического анализа, вероятности фазовых переходов и процессов регенерации.

Методами высокотемпературной гомогенизации, вакуумной декриптометрии и газовой хроматографии были исследованы тысячи типовых рудных и нерудных проб полиметаллических, редкометальных, колчеданных и золоторудных месторождений, проведена их статистическая обработка, что впервые дало возможность осуществить генетическую типизацию руд на количественной РТХ-основе (Грановский А.Г. 1979; Коломенский Г.Ю. 1973; Любченко В.А., Труфанов В.Н., Грановская Н.В. и др. 1976; Рылов В.Г. 1978; Труфанов В.Н. 1975; 1976, Труфанов В.Н., Арсамаков Х.И., Кобилев Г.А. и др. 1979; Труфанов В.Н., Богуш И.А. 1983; Труфанов В.Н., Грановский А.Г. 1975; Труфанов В.Н., Грановский А.Г., Грановская Н.В. и др. 1981; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Куршев С.А. и др. 1975). Основным результатом проведенных исследований явилась разработка концепции термодинамических барьеров рудообразования, что нашло отражение в двух монографиях (Труфанов В.Н. 1979; Шамрай И.А., Нетреба А.В., Труфанов В.Н. и др. 1972), более чем 30 научных статьях, в 30 фондовых работах, трех изобретениях, а также в докторской диссертации В.Н. Труфанова «Термобарогеохимические условия формирования рудных месторождений Большого Кавказа», успешно защищенной в 1983 году (Труфанов В.Н. 1983).

Кроме того, была защищена серия кандидатских диссертаций А.Т. Ушаком, Ю.А. Сафаровым, В.Н. Василенко, Г.Ю. Коломенским, А.Г. Грановским, Н.В. Грановской, В.Г. Рыловым (Грановская Н.В. 1983, 1984; Грановский А.Г. 1978, 1979; Коломенский Г.Ю. 1973; Рылов В.Г. 1978; Ушак А.Т. 1971), в которых широко использовались результаты термобарогеохимических исследований ртутных, колчеданных, полиметаллических, редкометальных и нерудных месторождений Северного Кавказа.

В этих работах были определены РТХ-условия формирования рудных и нерудных минеральных ассоциаций, этапность и стадийность минерало- и рудообразования, разработаны термобарогеохимические критерии прогноза скрытого оруденения. Впервые рассматривались физико-химические параметры фазовых переходов и процессов регенерации сульфидных руд. На этом этапе термобарогеохимические исследования приобрели четко выраженный прикладной характер, что было реализовано в выполнении более 20 научно-исследовательских проектов по заказам геологических партий и экспедиций ПГО «Севкавгеология», Садонского, Тырнаузского и Урупского горно-рудных комбинатов. За внедрение прогнозно-поисковых методов термобарогеохимии в практику геолого-разведочных работ В.Н. Труфанов был награжден медалью «За трудовое отличие», а Г.Ю. Коломенский удостоен Премии ЦК Комсомола Казахстана.

В этот же период впервые в Ростовском университете были проведены комплексные термобарогеохимические исследования в области гидрогеологии и нефтегазовой геологии под руководством А.М. Никанорова и Э.С. Сианисяна, которые дали возможность установить баротермические условия формирования месторождений углеводородного сырья Северного Кавказа (Никаноров А.М., Сианисян Э.С. 1976; Никаноров А.М., Сианисян Э.С., Смирнова М.И. 1977; Сианисян Э.С. 1977; Сианисян Э.С., Махнач А.А. 1980). По результатам этих работ защищена кандидатская диссертация Э.С. Сианисяном (Сианисян Э.С. 1977).

Наряду с интенсивным развитием работ в области термобарогеохимии в отмеченный период были продолжены и расширены научные исследования по синтезу минералов и экспериментальной геотехнологии. В НИИ ФОХ РГУ была организована Лаборатория химического синтеза минералов, сотрудники которой Н.С. Прокопов, Н.А. Тимченко, Н.И. Славгородский, С.А. Куршев, Ю.Г. Майский, З.В. Майская, С.Н. Труфанов, В.А. Самарский, И.И. Бичерова, В.К. Чихиркин, Н.Я. Туровская, Н.В. Грановская и др. под руководством В.Н. Труфанова создали уникальную автоклавную установку БАР-1, на которой были проведены не имеющие аналогов эксперименты по синтезу и деструкции минералов, горных пород и руд при высоких перепадах давления и температуры. В результате был открыт эффект «обратного» взрыва - распад минералов на атомно-молекулярные группировки в условиях практически мгновенного перехода системы «минерал-флюид» от высоких давлений к глубокому вакууму.

На основе этого эффекта были разработаны новые способы обогащения и прямого получения металлов из «упорных» золотых и полиметаллических руд (Труфанов В.Н., Куршев С.А., Майский Ю.Г. и др. 1977; Труфанов В.Н., Куршев С.А., Майский Ю.Г. и др. 1982; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Прокопов Н.С. и др. 1974).

Методом встречных флюидных потоков были синтезированы высокодисперсные атомно-молекулярные кремнезем-углеродные композиционные материалы с уникальными технологическими свойствами, проведение этих экспериментов фактически явилось предвестником нанотехнологических методов исследований. По результатам этих работ было получено авторское свидетельство на изобретение (Труфанов В.Н., Тимченко Н.А., Прокопов Н.С. и др. 1982).

Другим направлением работ в области экспериментальной геотехнологии стали исследования формовочных материалов, используемых в литейном производстве завода «Ростсельмаш», с целью снижения брака отливок (пригар, раковины и другие дефекты). Было установлено, что эти дефекты образуются в результате использования кварцевых песков с высокой декрипационной активностью, обусловленной присутствием большого количества газовой жидких включений. В итоге был изменен технологический режим подготовки формовочных смесей путем их предварительной термической дезактивации и введения компенсирующих гранатовых концентратов, получены авторские свидетельства на изобретение (Труфанов В.Н., Барышевский Л.М., Грановская Н.В. и др. 1979; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Мейлихов Д.С. и др. 1980; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Майская З.В. 1976).

Третий этап – 1985 – 1995 гг. характеризуется продолжением исследований по термобарогеохимии рудных и нерудных месторождений юга России и других регионов РФ, а также интенсивным развитием работ по экспериментальной геотехнологии с применением методов автоклавного моделирования, вакуумной декриптометрии и газовой хроматографии флюидных включений. По первому направлению работ были исследованы золоторудные месторождения Якутии и Восточного Донбасса, детально изучены редкометалльные месторождения Тырны-Ауз, и Кти-Теберда, а также метаморфические комплексы Северо-Западного Кавказа. Эти исследования легли в основу кандидатских диссертаций А.В. Шуликовского, М.И. Гамова, В.С. Гробмана, Е.А. Ныркова (Труфанов В.Н., Грановский А.Г., Грановская Н.В. и др. 1989; Гамов М.И. 1990, 1993; Труфанов В.Н. 1990, 1992; Труфанов В.Н., Гамов М.И. 1987, 1988; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Сафаров Ю.А. 1988; Труфанов В.Н., Куршев С.А., Майский Ю.Г. и др. 1986, 1987; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Куршев С.А. и др. 1987; Шуликовский А.В. 1993)

Особый интерес представляют результаты работ другого направления, связанного с термобарогеохимическими исследованиями угольных месторождений и особенно

прогнозированием опасных газодинамических явлений при отработке угольных пластов (Иванкин П.Ф., Труфанов В.Н. 1987; Косинский В.А., Труфанов В.Н., Славгородский Н.И. 1989; Лосев Н.Ф. 1994; Труфанов В.Н., Лосев Н.Ф., Гамов М.И. и др 1993; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. 1992; Труфанов В.Н., Славгородский Н.И., Труфанов С.Н. 1986, 1991).

Эти исследования проводились в рамках НТП «Уголь-выброс» под руководством заместителя председателя СКНЦ ВШ, доктора физико-математических наук, Заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора Н.Ф. Лосева и имели ярко выраженный интеграционный межотраслевой характер. Один из основных разделов программы был посвящен термобарогеохимии природных систем «уголь-газ» и процессам углеводородной флюидизации ископаемых углей, на ведущую роль которых в формировании угольных бассейнов и месторождений, впервые обратили внимание П.Ф. Иванкин и В.Н. Труфанов в статье, опубликованной в Докладах АН СССР в 1987г. (Иванкин П.Ф., Труфанов В.Н. 1987).

Сотрудниками кафедры месторождений полезных ископаемых геолого-географического факультета РГУ был выполнен значительный объем НИР по моделированию этих процессов, термобарогеохимическим особенностям формирования выбросоопасных зон в угольных пластах и прогнозированию опасных газодинамических явлений.

При кафедре МПИ была создана лаборатория «Геопрогноз» для проведения геотехнологических исследований, сотрудниками которой выполнен большой объем экспериментальных работ по молекулярной термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии. В составе лаборатории эффективно работали научные сотрудники и инженеры Н.С. Прокопов, А.Т. Ушак, Л.К. Дудкевич, З.В. Майская, Т.С. Орехова, С.И. Мельникова, А.В. Труфанов и С.Н. Труфанов, аспиранты и студенты старших курсов геолого-географического факультета РГУ. В последние годы в состав лаборатории вошли Н.И. Перепечаева, И.В. Труфанов, Г.Ю. Скляренко, Р.А. Цицуашвили, И.В. Рыбин.

Впервые методами вакуумной декриптометрии и туннельной электронной микроскопии было экспериментально доказано существование в зонах флюидизации угольных пластов метастабильных твердо-газовых растворов в угольном веществе, спонтанно распадающихся при резком снятии внешнего давления, то есть подтвержден эффект «обратного» взрыва в системах «уголь-газ».

Конечным результатом работ по термобарогеохимии ископаемых углей явилась разработка Н.В. Лосевым и В.Н. Труфановым молекулярно-энергетической концепции выбросоопасности (Труфанов В.Н. 1995; Труфанов В.Н., Лосев Н.Ф. 1994), опубликование большого числа научных статей и сообщений, защита кандидатской диссертации Н.И. Славгородским (Славгородский Н.И. 1995).

Основное положение отмеченной молекулярно-энергетической концепции выбросоопасности состоит в том, что в результате углеводородной флюидизации ископаемых углей по зонам тектонических нарушений образуются относительно локальные очаги метастабильного состояния системы «уголь-флюид» с аномально высоким энергетическим потенциалом, сосредоточенным в различных формах локализации флюидных компонентов в структуре угольного вещества (фазовые флюидные включения, клатратные соединения-включения, свободные флюидообразующие радикалы, твердогазовые растворы и др.).

Кроме того, избыточная энергия накапливается в электронно-парамагнитных центрах флюидизации в микромицелах угля, что вызывает явление их электромагнитной поляризации.

При проходке подземных горных выработок и снятии внешнего давления возникает эффект «обратного» взрыва и избыточная энергия системы «уголь-флюид» реализуется в виде внезапного выброса угля и газа и других опасных газодинамических явлений.

Исследования по НТП «Уголь-выброс» имеют большое практическое значение и широко используются для прогнозирования и предотвращения опасных газодинамических явлений в угольных шахтах.

Следует также отметить, что в этот период Э.С. Сианисяном были продолжены исследования по термобарогеохимии нефтегазовых залежей в осадочных комплексах пород Северного Кавказа, в результате которых установлены оптимальные РТ – условия формирования промышленных скоплений углеводородного сырья, защищена докторская диссертация (Сианисян Э.С. 1989, 1994; Сианисян Э.С., Труфанов В.Н. 1990).

Четвертый этап – 1996-2005гг. отличается дальнейшим развитием работ по термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии систем «уголь-газ» применительно к проблеме угольного метана и утилизации отходов угледобычи как нетрадиционных видов минерального сырья. Эти исследования проводились в рамках НТП «Уголь-метан» большим коллективом ученых ИПКОН РАН, МГГУ, РГУ, ОАО «Промгаз», ВНИГРИуголь под руководством академика К.Н. Трубецкого, доктора геолого-минералогических наук, профессора В.Н. Труфанова и доктора геолого-минералогических наук, профессора В.В. Гурьянова.

Для проведения этих исследований по ФЦП «Интеграция» на базе лаборатории «Геотехпрогноз» в 1998 году был создан Южно-Российский учебно-научный центр геотехнологического прогнозирования и комплексного использования сырья (Геотехцентр-Юг), объединивший научно-исследовательские работы сотрудников РГУ, ИПКОН РАН и ЮРГТУ (НПИ). Создание геотехнологического центра имело большое организационное значение, т.к. в его состав вошли более 20 докторов и кандидатов геолого-минералогических наук, молодые сотрудники, аспиранты и студенты отмеченных выше организаций. Был выполнен ряд

проектов, направленных на исследование техногенных месторождений угольного ряда, для оценки их комплексного использования. На основе этих исследований впервые составлена термобарогеохимическая модель горящего террикона. По результатам работ защищены кандидатские диссертации А.Б. Гончаровым, Л.В. Гипич и Ф.В. Мещаниновым. Опубликован ряд статей и сообщений в научных журналах и материалах Всероссийского угольного совещания по проблеме утилизации отходов угледобывающих предприятий (Гипич Л.В. 1998; Гурьянов В.В., Труфанов В.Н., Матвиенко Н.Г. и др. 2000; Мещанинов Ф.В. 2002; Стариков В.В., Гурьянов В.В., Труфанов В.Н. и др. 2001; Труфанов А.В. 2002; Труфанов В.Н. 1999; Труфанов В.Н., Гамов М.И. 1999; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2000; Труфанов В.Н., Мещанинов Ф.В., Труфанов А.В. 1998).

В 2004 году была защищена кандидатская диссертация Гончаровым А.Б. на тему «Геолого-генетические особенности и перспективы комплексного использования углеродсодержащих флюидизитов Восточного Донбасса».

Как и в предыдущий этап, значительный объем работ по термобарогеохимии метанугольных месторождений был выполнен сотрудниками Геотехцентра-Юг и кафедры МПИ геолого-географического факультета РГУ на примере угольных месторождений Восточного Донбасса. Основная цель работ состояла в установлении оптимальных физико-химических условий формирования метанообильных зон в угольных пластах и вмещающих породах на базе дальнейшего развития концепции углеводородной флюидизации ископаемых углей (Труфанов В.Н., Гамов М.И. 2003; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2004; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2004; Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Гамов М.И. 2003).

Вторым направлением исследований явились разработки эффективной, экологически безопасной технологии извлечения метана из угольных пластов как особого, нетрадиционного вида полезного ископаемого.

В результате выполненных работ были установлены закономерности формирования флюидоактивных зон в угольных пластах, определены прогнозные ресурсы угольного метана для Восточно-Донбасского, Печорского и Кузнецкого бассейнов в количестве более 13 триллионов кубических метров, составлены термобарогеохимические прогнозные карты для этого вида углеводородного сырья.

Была разработана и в натурных условиях на Краснодонском полигоне успешно апробирована новая технология скажинной добычи угольного метана с использованием эффекта «обратного» взрыва.

Были получены фонтанирующие притоки метана с расчетным дебитом от 8 до 25 тыс. м³/сутки.

По результатам НИР опубликована монография «Углеродная флюидизация ископаемых углей В.Донбасса», серия статей, а также защищена М.И. Гамовым докторская диссертация (Гамов М.И. 2004; Гончаров А.Б. 2004; Труфанов В.Н. Гамов М.И., Майский Ю.Г. и др. 2005; Чихиркин А.А, Труфанов В.Н. 2005).

Кроме того, в рассматриваемый этап получили дальнейшее развитие фундаментальные теоретические и прикладные исследования по молекулярной термобарогеохимии (Богуш И.А., Труфанов В.Н., Курбанов М.М. и др. 1999; Труфанов В.Н. 1999; Труфанов В.Н., Гамов М.И. 2002, 2003; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Майский Ю.Г. и др. 2001), защищена кандидатская диссертация А.В. Труфановым (Труфанов А.В. 2002; Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2002). На основе прецизионных исследований на электронном микроскопе, бетатроне и вакуумных декриптографов была обоснована роль вакуума в процессах минерало- и рудообразования, открыт эффект электромагнитной индуцированной поляризации систем «минерал-флюид» и установлена его роль в формировании геопатогенных зон и других энергетических аномалий в земной коре (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Труфанов А.В. 1997; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Труфанов А.В. и др. 1997).

Практическим выходом этого открытия явилось создание нового класса аналитических приборов – электромагнитных дистанционных влагомеров ЭВД – 3 и электромагнитных дистанционных индикаторов поляризации веществ типа ЭДИП-1. С помощью этих приборов появилась возможность осуществлять дистанционный экспресс-анализ влажности твердых и сыпучих веществ (глина, зерно и продукты его переработки), а также выявлять и оконтуривать электромагнитные энергетические аномалии, в том числе геопатогенные зоны. Работы в этом направлении, несомненно, представляют большой теоретический и практический интерес.

Пятый этап (2006г. – настоящее время) характеризуется дальнейшим развитием и модернизацией практически всех направлений исследований, описанных в предыдущих этапах (Арсамаков Х.И., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2011; Кобзарева Ж.С. 2007; Майский Ю.Г., Труфанов И.В. 2008; Рылов В.Г., Труфанов В.Н. 2011; Скляренко Г.Ю. 2010; Труфанов В.Н., Богуш И.А., Курбанов М.М. и др. 2007; Труфанов В.Н. 2008, 2009; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Дудкевич Л.К. и др. 2008; Труфанов В.Н., Наседкина А.А. 2006; Труфанов В.Н., Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А. и др. 2011; Труфанов В.Н., Рылов В.Г., Мещанинов Ф.В. 2006; Труфанов В.Н., Сухарев А.И., Гамов М.И. и др. 2010; Труфанов В.Н., Труфанов И.В. 2006; Шарова Т.В. 2008), а также концентрацией работ по молекулярной термобарогеохимии нефтегазовых залежей в осадочных комплексах Западной Сибири. Значительный объем исследований по этому направлению проведен по глубоким (до 4 км.) разведочным скважинам Большехетской синеклизы, в результате которых выдвинуто принципиально новое положение о ведущей роли процессов гидротермального литогенеза в генерации, транспортировке и формировании

локальных скоплений углеводородного сырья в земной коре (Труфанов В.Н., Сухарев А.И., Гамов М.И. и др. 2010).

Установлено, что образование нефтегазовых залежей происходит в интервале температур от 90-120 до 220-300⁰С при давлениях до 60-70 МПа, что вносит существенный вклад в современную концепцию нефте- и газообразования, в которой ведущая роль придается внутрикоровым и мантийным геофлюидным системам.

Это положение коренным образом влияет на методику геолого-разведочных работ, в которую, несомненно, должны быть введены критерии и способы обнаружения флюидоактивных зон в осадочных комплексах как наиболее вероятных участков локализации нефтегазовых залежей. В этом направлении предстоит еще большой объем теоретических и экспериментальных исследований.

В этот же период были защищены кандидатские диссертации Ж.С. Кобзаревой (Кобзарева Ж.С. 2007), Т.В. Шаровой (Шарова Т.В. 2008) и Г.Ю. Скляренко (Скляренко Г.Ю. 2010), которые являются дальнейшим развитием работ по молекулярной термобарогеохимии рудных месторождений.

Таким образом, за более чем полувековой период развития научно-исследовательских работ в области молекулярной термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии в Ростовском государственном университете и Южном федеральном университете выполнен большой объем фундаментальных и прикладных исследований флюидных включений в минералах, породах и рудах.

Проведенные работы охватывают практически весь спектр месторождений рудных, нерудных и горючих полезных ископаемых в отношении их генезиса и комплексного использования минерального сырья. На их основе созданы и внедрены в производство уникальные приборы и установки, разработаны новые технологии поисков, разведки и эксплуатации месторождений, эффективные методы комплексного использования минерального сырья.

Не вызывает сомнения, что исследования по этому приоритетному направлению получат дальнейшее развитие в ближайшей и отдаленной перспективе.

Среди наиболее перспективных направлений развития молекулярной термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии можно отметить следующие направления:

- 1) Термобарогеохимия фазовых переходов и процессов деструкции природных систем «минерал-порода-флюид» при высоких термобарогradientных условиях;
- 2) Термобарогеохимия и минерагения геофлюидных систем юга России, в том числе Восточного Донбасса.

- 3) Термобарогеохимия и комплексное использование техногенных месторождений угольного ряда, содержащих кварц-углеродистые метасоматиты;
- 4) Создание новых типов вакуумных декриптографов и автоклавных установок с компьютерным окончанием для исследования флюидных включений и реализации задач экспериментальной геотехнологии.
- 5) Разработка новых технологий комплексного использования минерального сырья на основе сверхкритических эффектов «обратного» взрыва.
- 6) Установление геолого-структурных условий формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса в зонах флюидизации углепородных массивов;
- 7) Определение минералого-петрографических и геохимических особенностей кварц-углеродистых метасоматитов;
- 8) Установление термобарогеохимических параметров образования, фазовых переходов и процессов деструкции систем «уголь-порода-флюид»;
- 9) Генетическая типизация и оценка перспектив комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов.

Таким образом, тема диссертационной работы является логическим продолжением исследований в отмеченном перспективном направлении. Вместе с тем следует подчеркнуть, что кроме указанных выше работ А.Б.Гончарова, Ф.В.Мещанинова и Л.В.Гипич, проблема генезиса и комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов как нетрадиционного вида минерального сырья остается в настоящее время изученной недостаточно. С общелитологических позиций исследованные нами псевдофтаниты, псевдолидиты, псевдокварцолиты и кварцевые гидротермалиты относятся к широкому классу кремневых пород, или кварцолитов, генезис которых остается остро дискуссионным - от типично осадочного до биогенного, хемогенного и метасоматического (Фролов В.Т. 1992). В то же время в работах П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой эти породы рассматриваются как типичные гидротермально-метасоматические образования. Наши исследования вносят свой вклад в решение этой проблемы.

ВЫВОДЫ:

На основании анализа ранее проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) За более чем полувековой период, с начала 60-х годов прошлого века в Ростовском государственном университете и затем в Южном федеральном университете проводятся комплексные исследования флюидных включений в минералах, направленные на установление генезиса месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых и оценку перспектив их

комплексного использования в различных отраслях промышленности и в общеобразовательном процессе при подготовке специалистов горных инженеров.

2) Наиболее значимые результаты получены в области исследований флюидных включений в минералах, породах и рудах Большого Кавказа и Восточного Донбасса, итогом которых является концепция углеводородной флюидизации ископаемых углей и вмещающих пород, а также создание эффективных технологий глубокой переработки новых и нетрадиционных видов минерального сырья. На основе этих исследований сложилось новое научное направление: «Молекулярная термобарогеохимия и экспериментальная геотехнология».

3) Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса изучены в этом отношении недостаточно. Фактически они предварительно исследовались только в работах А.Б.Гончарова, П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой, а с общетеоретических позиций – в работах ведущих литологов (Япоскурт, Фролов и др.)

4) Автором настоящей работы продолжены исследования этих специфических природных объектов как нетрадиционных видов минерального сырья для получения нерудных материалов и извлечения промышленно важных цветных, редких и благородных металлов.

5) Основным направлением исследований является установление закономерностей формирования кварц-углеродистых метасоматитов и оценка перспектив их практического использования на основе комплексных геолого-структурных, термобарогеохимических и автоклавных методов исследований природных систем «минерал-порода-флюид» (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014).

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с основными направлениями и задачами методика проведенных исследований включала обобщение и анализ литературных и фондовых материалов, полевое геолого-структурное изучение угольных месторождений Восточного Донбасса и опробование пород, содержащих кварц-углеродистые метасоматиты. Это направление работ преследовало цель получить объективную полевую информацию, а также обеспечить комплекс экспериментальных исследований представительными пробами. Следующее направление методических работ включало лабораторные и экспериментальные исследования, компьютерную обработку и интерпретацию полученных данных. Конечным результатом проделанной работы по всем направлениям исследований является установление условий образования и трансформации кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса и оценка перспектив их комплексного использования на основе автоклавных методов экстракции промышленно важных макро+микроэлементов и синтеза высокоуглеродистых продуктов.

2.1 Полевые работы

Полевые исследования проводились в следующих районах Восточного Донбасса: Сулино-Садкинском, Краснодонецком и Тацинском.

Местами отбора проб явились скважины. Пробы из керна были предоставлены также кафедрой месторождений полезных ископаемых. Велось геологическое описание и фиксировалась смена литологических разностей пород, а также проводилось штучное опробование по зонам эпигенетической трансформации пород, содержащих кварц-углеродистые метасоматиты. Геологоразведочные работы обеспечили выявление и опробование пород, связанных с гидротермальным литогенезом, определение параметров и условий их залегания.

2.2 Методика отбора и основные принципы обработки проб

Породы, которые залегали на глубине, проходились скважинами колонкового типа с получением керна. Вес проб, взятых из керна, варьирует от 200 до 300г. Всего было отобрано для изучения 272 пробы.

Дальнейший комплекс лабораторных исследований выбирался с учетом их разрешающей способности и степени аналитической информативности.

Из всех проб сначала изготавливались препараты для электронной микроскопии, полированные пластинки для установления текстурных, структурных особенностей пород и исследования флюидных включений, а также шлифы для проведения петрографических исследований.

Пробы, предназначенные для лабораторных анализов, требовали обработки. От каждой пробы брали небольшую часть каменного материала и производили пробоподготовку для термобарогеохимических исследований (вакуумной декриптометрии и газовой хроматографии). Для вакуумно-декриптометрического и газовой хроматографического анализов использовали навески 5-200 мг., фракцией -0,5+0,2мм. После того как все пробы, на основании результатов вакуумной декриптометрии, поделили на группы, от каждой группы выделили по одной пробе с максимальной массой. Далее эти отобранные пробы дробились до фракции -2+1мм. для автоклавного моделирования. Для каждого режима автоклавного моделирования требовалась индивидуальная навеска. Для стационарного режима требовалась проба с массой 36,3г. Для режима «обратный» взрыв проба с массой 36,3г. Для режима «дресселирование» - 61,79г. Путем сложения всех этих навесок можно сказать, что 134, 39г. от каждой выделенной пробы из каждой группы ушло на автоклавное моделирование. Оставшийся материал исходных проб, после пробоподготовки на автоклавное моделирование, далее подготавливался для рентгеноструктурного, эмиссионного полуколичественного спектрального анализов, определений качества пород на пригодность как фильтрующий материал и кирпичное сырье.

После автоклавного моделирования каменный материал изучали под биноклем и также подвергали пробоподготовке для термобарогеохимических исследований (вакуумной декриптометрии и газовой хроматографии), рентгеноструктурного и спектрального анализов на макро+микроэлементы по той же схеме, что и исходные пробы. В результате автоклавного моделирования получали также медные мембраны с осажденными на них продуктами деструкции. Данные мембраны также как и каменный материал изучали под биноклем и отправляли на электронную микроскопию.

2.3 Минералого-петрографические исследования

Изучение пластинок, шлифов и аншлифов проводилось с применением поляризационного микроскопа ПОЛАМ-Р312, а искусственных шлихов-протолок и мембран при помощи биноклярного микроскопа МБС-2. В качестве индикаторных морфогенетических признаков минеральных включений фиксировались следующие параметры: формы выделения и

контакта с другими минералами, характер поверхности и границ, размеры, рельеф, отражательная способность и цвет зерен (в воздушной среде и масляной иммерсии), двупреломление, эффект анизотропии при скрещенных николях и др. Объекты исследовались при рабочих увеличениях от 87,5 крат (на МБС-2) до 480 крат (на ПОЛАМ-Р312) и сопровождались фотодокументацией.

2.4 Специальные аналитические методы исследований

2.4.1 Электронная растровая микроскопия

Исследования проводились с применением растрового электронного микроскопа VEGA II LMU (фирмы «Tescan») с системами энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT и волнодисперсионного микроанализа INCA WAVE 700 (фирмы «OXFORD Instruments Analytical»). Образцы (медные мембраны и аншлифы) предварительно напылялись углеродом.

Данное оборудование дало возможность:

- Изучить морфологию и фазовую неоднородность микрообъектов при увеличении до 1000000×;
- Выполнить анализ изображения, измерение, классификацию объектов и получение 3D изображений;
- Провести качественную диагностику и количественное определение химического состава микрообъектов в диапазоне от бора до урана методами рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного и волнового микроанализа;
- Построить карты фаз объектов (на основе данных детектора обратнорассеянных электронов);
- Построить карты или профили распределения элементов.
- Выделить морфогенетические типы ультрамикроскопических флюидных включений.

В целом метод растровой электронной микроскопии оказался весьма эффективным для исследования тонкодисперсных продуктов деструкции проб после их автоклавной обработки.

2.4.2 Рентгеноструктурный анализ

Для определения структурных модификаций кремнезема в пробах был применен рентгеновский фазовый анализ. Дифракционные исследования порошковых препаратов выполнены на дифрактометре «ДРОН-7» при медном излучении.

Для съемки дифракционной картины порошок готовился путем дробления минеральных зерен в фарфоровой ступке с последующим просеиванием через сито, выделяющее фракцию менее 0,14 мм. Отквартованная стандартным способом проба запрессовывалась в отожженную кварцевую кювету диаметром 20 мм. с использованием рентгеноаморфного связующего.

Применялись следующие параметры при проведении анализов:

- Интервал угла: От 10.00° до 70.00°
- Метод съемки: 2θ - θ
- Экспозиция, сек = 1
- Шаг съемки, град. = 0.050°
- Излучение = Cu (29)
- Beta - фильтр = Ni (28)
- Щель горизонтальная (трубка), мм = 10
- Щель вертикальная (трубка), мм = 1
- Щель Соллера = 2.5°
- Щель вертикальная (детектор), мм = 0.25
- Щель горизонтальная, регулируемая (детектор), мм = 10
- Напряжение, кВ = 40
- Сила тока, mA = 20
- С вращением образца
- Скорость вращения, об/с: 1

Расшифровка рентгенограмм осуществлялась с использованием справочника В.И. Михеева. Рентгенометрический определитель минералов (Михеев В.И. 1957).

2.4.3 Приближенно-количественный спектральный анализ

Данный эмиссионный анализ проводился в РЛЦ ПГО «Южгеология» на спектрографе ДФС – 8. Источник – электрическая дуга. Искра создается с помощью дугового генератора ПРИМА – М, который является источником возбуждения спектра. Управление режима сжигания осуществляется с помощью программного обеспечения через компьютер. Точность

метода – 68%. С помощью данного анализа было определено содержание следующих макро+микроэлементов в пробе: Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Zr, Nb, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, As, Zn, Cd, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Y, Yb, P, Li, Sr, Ba.

2.5 Термобарогеохимические исследования (оптическая микроскопия, вакуумная декриптометрия, газовая хроматография)

Данный вид исследования преследовал цель реконструировать физико-химические параметры процессов флюидизации метасоматически-измененных угольных пород методами термобарогеохимии. Термобарогеохимические исследования осуществлялись по методике Н.П. Ермакова, Ю.А. Долгова, В.Н. Труфанова и других авторов (Труфанов В.Н. 1969). Они содержали оптико-минералогическое изучение полированных препаратов, вакуумно-декриптометрический анализ (ВДА) и газово-хроматографический анализ (ГХА). Эти методы, выявляя РТХ-параметры формирования минералов, были направлены на создание объективной картины минералообразования, под действием флюидов различного состава. Полированные пластинки толщиной от 0,3 мм. изучались с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312. Использование ПОЛАМ Р-312 оказалось весьма полезным при исследовании очень мелких включений.

2.5.1 Оптико-микроскопические исследования флюидных включений

При описании флюидных включений использовались увеличения 400^x, 600^x. Идентификация генетических типов включений осуществлялась с использованием рекомендаций изложенных в монографии Э. Реддера (Реддер Э. 1987).

Методика оптико-микроскопического изучения флюидных включений в минералах основывалась на их обнаружении в прозрачных участках шлифов, классификации (типизации) включений по генезису, описании морфологии, определении размеров включений, их фазового состава, объемного соотношения фаз, определение «минералов-узников».

В изученных образцах выделялись системы первичных, мнимовторичных или первично-вторичных и вторичных включений. Первичные рассматривались как реликты минералообразующей среды. К первично-вторичным и вторичным относились включения, которые образовывались при залечивании микротрещин в минерале-хозяине в течение какого-либо процесса, имевшего место после завершения кристаллизации минерала.

Включения по ассоциациям фаз могли быть следующие: водный раствор и газовый пузырек; силикатный расплав и газовый пузырек; жидкая углекислота и газовый пузырек;

водный раствор, жидкая углекислота и газовый пузырек; твердые фазы включений - «минералы-узники».

К оптико-микроскопическим исследованиям можно также отнести объемно-статистический метод термобарогеохимии, а именно, оценку температур гомогенизации газожидких включений по измерениям соотношений объемов газовой и жидкой фазы, использованные впервые Г. Сорби и в последующем развитые Н. П. Ермаковым. В этих исследованиях выделяются первичные, вторичные и первично-вторичные включения, определяются их размеры и соотношения флюидных компонентов с помощью окуляр-микрометра, устанавливаются показатели преломления минералов-«узников» с целью их диагностики и т.п. Для оптико-политермических исследований методом гомогенизации целесообразно изготовление дублирующих полированных пластинок и шлифов по методикам, детально описанным Н. П. Ермаковым и другими исследователями. Оптико-политермические методы определения температуры и давления среды минералообразования по включениям состоят в нагревании прозрачных препаратов, содержащих флюидные консерваты, с регистрацией фазовых превращений во включениях до их перехода в геологическое (однородное) состояние (метод гомогенизации). Как известно, в основе метода гомогенизации находится теоретическая предпосылка о соответствии температуры перехода содержимого включений в однородное агрегатное состояние минимальной температуре кристаллизации минерала. Это положение многократно проверено экспериментальными исследованиями процессов кристаллизации и захвата включений искусственно выращиваемыми минералами и в общем виде, очевидно, является справедливым. Поправки к температурам гомогенизации на давление флюидов для получения истинных температур могут быть значительными, до +150-200°C, однако в большинстве случаев находятся в пределах до +70-80°C даже при относительно высоких давлениях. Это объясняется, во-первых, содержанием во включениях высокоминерализованных флюидов и, во-вторых, эффектами высаливания, обусловленными присутствием различных газов. Во всяком случае, эти поправки могут быть учтены при комплексном исследовании включений в минералах и проверены отдельными «реперными» замерами температур по наиболее «независимым» геотермометрам (например, по точкам полиморфных превращений).

Следует подчеркнуть три существенных момента, связанных с новым подходом к изучению природных систем «минерал - флюид» как целостных природных объектов.

Во-первых, для получения объективных данных о температурах гомогенизации включений необходимо исследовать их с позиций системного анализа и, в частности, широко применять методы вариационной статистики, что впервые было показано Э. Рёддером, но, к сожалению, слабо используется в отечественных методиках. Для каждой системы флюидных

консерватов следует проводить замеры температур гомогенизации по нескольким десяткам (50-70) включений с последующим определением температурных интервалов максимальных частот их встречаемости в данном образце.

Во-вторых, критерием остановки опыта (т. е. замера температуры гомогенизации) является не момент оптически регистрируемого «исчезновения» газового пузырька, а достижение динамического равновесия в системе «минерал - флюид», при котором разница между температурой «оптической гомогенизации» и гетерогенизации (при охлаждении) содержимого вакуоли становится минимальной.

В-третьих, в сложных поликомпонентных системах P-Q-типа (с двумя критическими точками) возможны явления «двойной гомогенизации», заключающаяся в появлении критических флюидных фаз во включениях при достижении второй критической точки Q. В таких случаях вопрос об истинной температуре консервации флюида может быть решен только с привлечением дополнительных независимых геотермометров.

В разработке методики наблюдения за фазовыми превращениями во включениях при их нагревании и аппаратуры для этих исследований достигнуты определенные успехи. Применяются универсальные кварцево-керамические микротермокамеры, рассчитанные на широкий диапазон температур (до 1400°), снабженные длиннофокусными объективами и хромель-алюмелевыми или платина-платино-родиевыми термопарами. Установки эталонируются по точкам плавления стандартного набора солей и металлов, погрешность измерения температуры составляет обычно не более $\pm 1 - 2^\circ$ в диапазоне средних температур (до 400°) и достигает $\pm 10^\circ$ при максимальных условиях опытов. Конструкции термокамер для исследования флюидных включений существенно различаются по конструкции и функциональному назначению – от простых нагревательных столиков Кофлера до сложных электромеханических устройств с фотонасадкой и компьютерным оснащением (**Рисунок 2.1; 2.2**) (В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, Л.К. Дудкевич и др. 2008).

Развитие и совершенствование методов термобарогеохимии и особенно метода вакуумной термобарометрии дало возможность перейти от теоретических расчетов РТХ-условий минералообразующих систем к прямым экспериментальным оценкам их энергетических параметров, что впервые было осуществлено при изучении рудных месторождений Большого Кавказа (Труфанов В.Н. 1979). При этом общие принципы энергетической концепции минерало- и рудообразования, сформулированные в классических работах А.Е. Ферсмана (Ферсман А.Е. 1960) и других исследователей, были применены в качестве теоретической базы при разработке экспериментальной методики определения энергетических показателей флюидоактивности природных систем «минерал-порода-флюид»

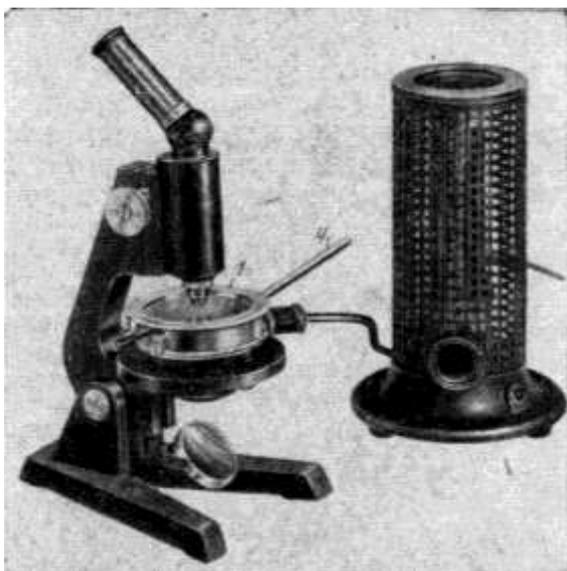


Рисунок 2.1 - Общий вид микроскопа со столиком Кофлера

Примечание - 1-покрывающее стекло; 2 – рамка; 3 – ручка рамки; 4 – термометр

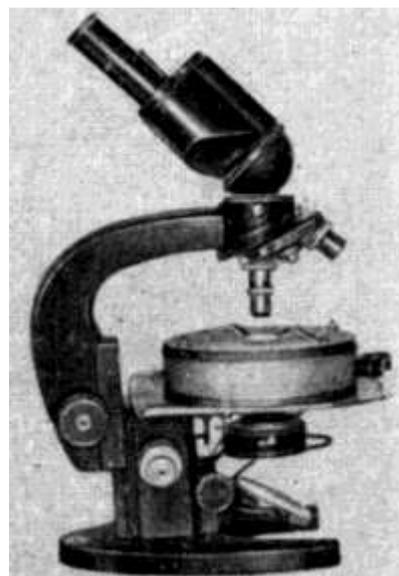


Рисунок 2.2 - Внешний вид микротермокамеры для исследования высокотемпературных включений минералообразующих растворов и расплавов

по результатам вакуумной декриптометрии флюидных включений в минералах, породах и рудах (Труфанов В.Н. 1990).

В дальнейшем эта методика использовалась авторами при решении проблемы выбросоопасности угольных пластов (В.Н. Труфанов, Н.Ф. Лосев, М.И. Гамов и др. 1993), при разработке концепции углеводородной флюидизации ископаемых углей и технологии извлечения угольного метана как нетрадиционного вида углеводородного сырья (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2004), а также для определения оптимальных физико-химических параметров формирования углеводородных залежей Западной Сибири (Труфанов В.Н., Сухарев А.И., Труфанов А.В. и др. 2012). В последнее время методика энергетического анализа природных систем «уголь-флюид» нашла применение при оценке потенциальной рудоносности ископаемых углей и разработке методов извлечения из них стратегически важных макро+микроэлементов в условиях «обратного» взрыва (Гамов М.И. 2004; Труфанов В.Н. 2008; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Прокопов Н.С. и др. 2012; Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Труфанов А.В. и др. 2013).

Таким образом, в настоящее время накоплен значительный фактический материал по этой актуальной в теоретическом и практическом отношениях проблеме, одним из недостаточно разработанных вопросов которой является методика количественных оценок энергетических показателей флюидоактивности природных систем «минерал-порода-флюид»

при конкретных РТХ-параметрах их образования (Труфанов В.Н., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В. и др. 2013).

2.5.2 Метод вакуумной декриптометрии и энергетический анализ систем «минерал-порода-флюид»

Декриптометрический метод (от англ. «decrepitation» – растрескивание, поскрипывание; в отечественной литературе применяется термин «декриптометрия», от греч. «decryptos» – вскрытый, раскрытый), примененный впервые Г. Скоттом (The decrepitation method applied to minerals, 1948), основан на свойстве флюидных включений в минералах вскрываться при температурах, близких к температурам минералообразования.

Теоретический принцип этого метода заключается в том, что незначительное увеличение температуры после гомогенизации включения приводит к резкому возрастанию давления внутри вакуоли. В опытах Е. Ингерсона (Angerson E. 1947) в вакуоли, на 2/3 заполненной жидкостью, гомогенизация происходила при температуре 320°C, а давление при этом достигало 120 кг/см². При нагревании до 350°C давление в вакуоли возрастает до 500 кг/см², т.е. увеличивается более чем в четыре раза, а при температуре 400°C достигает 2500 кг/см². Такое резкое возрастание давления внутри включений приводит, в конечном счете, к растрескиванию и разрушению стенок вакуолей.

Разница в температурах гомогенизации и декриптации в разных минералах различна и определяется, прежде всего, соотношением газовой и жидкой фазы внутри включения, размерами включений, величиной внешнего давления, толщиной стенок и механическими свойствами минерала-«хозяина». Выведенная Г.Г. Леммлейном и М.О. Клия зависимость между этими величинами выражается следующей формулой:

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{нар}} + 4/3\sigma_{\text{вр}} - 4/3\sigma_{\text{вр}} (b/a)^3, \quad (1)$$

где $P_{\text{вн}}$ – необходимое для разрыва образца давление во включении;

$P_{\text{нар}}$ – наружное (внешнее) давление;

a – размер включения;

b – размер образца (толщина стенок вакуоли);

$\sigma_{\text{вр}}$ – механические свойства минерала-«хозяина».

Сопоставление температур синтеза кристаллов кварца, температур гомогенизации и декриптации флюидных включений, проведенное Майским Ю.Г. (Майский Ю.Г. 1969), показало, что расхождения между температурами гомогенизации и температурами

кристаллизации варьируют от + 10 до + 111°C (среднее + 49,6°C), а температура декриптации превышает истинную в среднем на 31,5°C.

Для фиксации вскрытия включений разными авторами предлагались разнообразные конструкции термозвукорегистраторов. В первых экспериментах Г. Скотт использовал весьма несовершенную аппаратуру, вследствие чего в интерпретацию результатов опытов вносился существенный элемент субъективности. В 1949 г. П. Пич (Peach P.A. 1949) опубликовал данные о сконструированной им установке для метода декриптации, не получившей широкого распространения из-за своей сложности.

Отечественными учеными сделан значительный вклад в разработку и усовершенствование метода декриптации. Создана специальная аппаратура, позволяющая объективно оценивать результаты экспериментов (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Дудкевич Л.К. и др. 2008). Наиболее известны автоматические термозвукорегистраторы, сконструированные Ю.А. Долговым и Р.И. Райхер (Долгов Ю.А., Райхер Н.Д. 1953), А.И. Захарченко и группой исследователей ВСЕГЕИ и ВНИИСИМС, Е.Е. Костылевой и В.И. Лабунцевым (Захарченко А.И. 1955). В.Н. Труфановым совместно с В.М. Деминим, С.А. Куршевым и Н.Г. Родзянко был разработан автоматический термозвукорегистратор-декриптомтр РУД-1, отличающийся от известных приборов такого типа значительной простотой и надежностью фиксации результатов экспериментов (Родзянко Н.Г., Труфанов В.Н., Демин В.М. 1964).

Декриптометрические методы исследования минералов, пород и руд получили широкое распространение в связи с их универсальностью, высокой автоматизацией и производительностью, а также в результате разработки специальной аппаратуры (Труфанов В.Н. 1975). На смену первым термозвукорегистраторам – декриптографам, обладавшим рядом недостатков, созданы новые термовакуумные приборы, отличающиеся высокой чувствительностью, отсутствием помех, практически 100%-ной воспроизводимостью экспериментов и другими положительными характеристиками. В исследованиях данной работы применяются вакуумные декриптографы типа ВД-5, разработанные на кафедре МПИ РГУ на основе изобретения «Устройство для определения температур газовыделения» (Демин В.М., Куршев С.А., Майский Ю.Г. и др. 1971)(**Рисунок 2.3, 2.4**).

Прибор позволяет определять не только температуры декриптации флюидных включений, но и оценивать суммарное значение энергетического показателя флюидоактивности для всей системы «минерал-порода-флюид» в условных единицах.

Позже была предложена методика энергетического анализа природных систем «минерал-порода-флюид» в условных и абсолютных единицах – Дж/моль • град. или Дж/кг • град. методами вакуумной декриптометрии (Труфанов В.Н. 1990). Для энергетического анализа

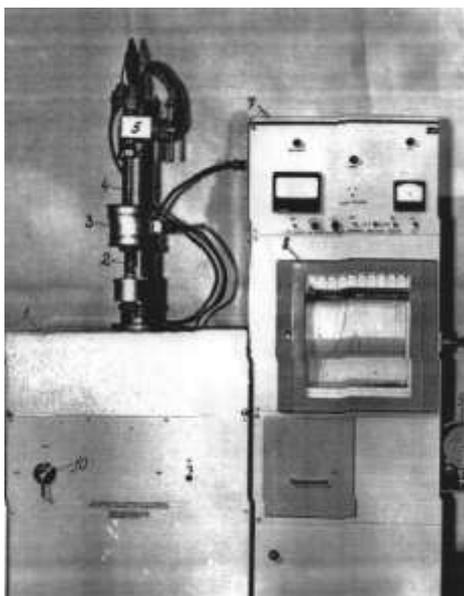


Рисунок 2.3 - Общий вид вакуумного декриптографа ВД-5

Примечание - 1 – корпус прибора; 2 – термопара; 3 – печь; 4 - капсула; 5 – интеграционная камера; 6 – кран интеграционной камеры; 7 – вакуумметр; 8 – самописец; 9 – блок охлаждения; 10 – перепускной вакуумный кран

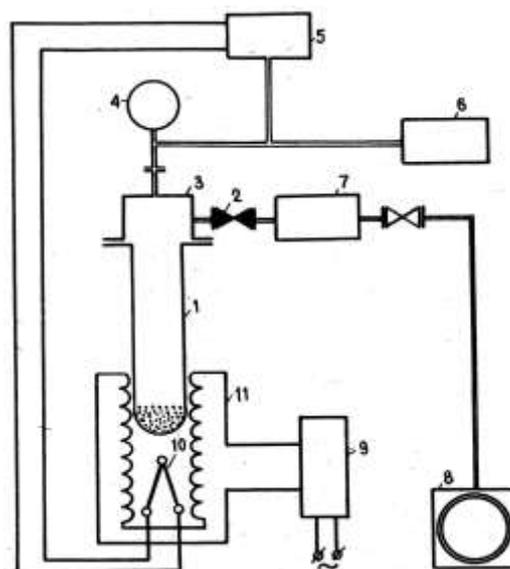


Рисунок 2.4 - Принципиальная схема вакуумного декриптографа типа ВД.

Примечание - 1- кварцевая капсула-реактор; 2 – вакуумный кран жиклер; 3 – интеграционная камера; 4 – термопарная лампа; 5 – самописец; 6 – вакуумметр; 7 – камера предварительного вакуума; 8 – вакуумный насос; 9 – регулятор напряжения печи; 10 - термопара; 11 – нагревательная печь

систем «минерал-порода-флюид» используются экспериментальные данные, получаемые методами вакуумной декриптометрии по методике В.Н. Труфанова и др. (Труфанов В.Н. 1975).

Как было показано ранее (Труфанов В.Н. 1979), существующие конструкции вакуумных декриптографов типа «ВД» наряду с регистрацией эффектов взрывов флюидных включений при нагревании минералов в вакууме дают возможность определить объем и состав выделяющейся флюидной фазы в любом температурном интервале, оценить в абсолютных единицах максимальное приращение давления в датчике прибора, обусловленное суммарным барическим эффектом газовыделения, а также установить модальные значения температурных максимумов декриптации (**Рисунок 2.5**).

Определение этих величин позволяет рассчитать значения энергетического F-показателя флюидоактивности для любой системы флюидных включений в исследуемом образце как величину, прямо пропорциональную приращению давления (ΔP) и объему газовыделения (V_f) и обратно пропорциональную модальному значению температуры декриптации (T_d), т. е.

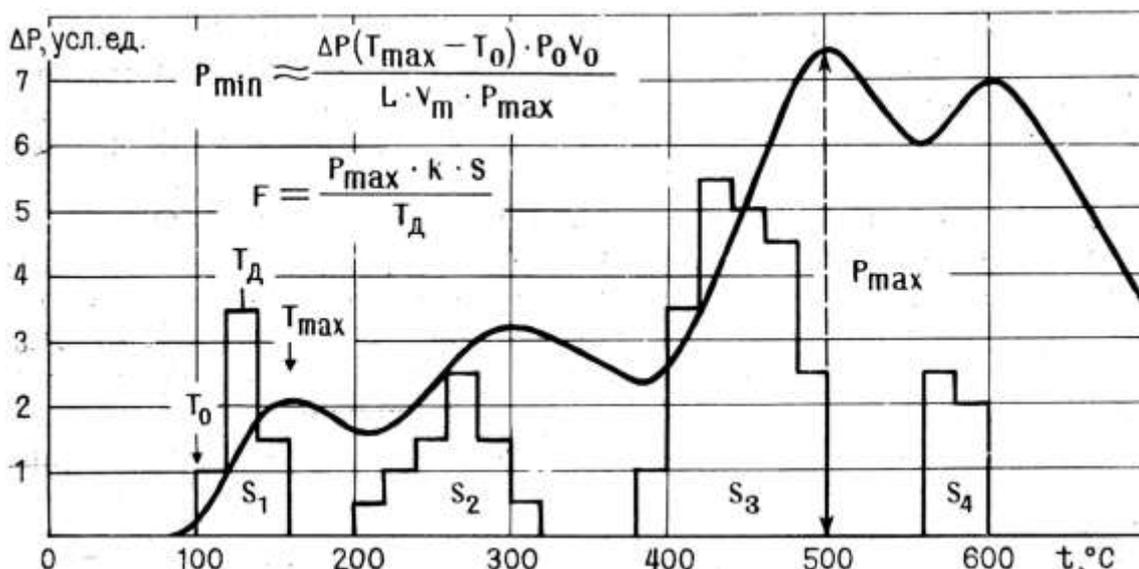


Рисунок 2.5 - Типовая вакуумная декриптограмма кварца с расчетом давления минералообразования (P) и энергетического показателя флюидоносности (F)

$$F = \Delta PV/T_{\text{д}},$$

(2)

Сравнение приведенной формулы с уравнением Клапейрона-Менделеева ($PV = nRT$) показывает, что F-показатель характеризует работу изобарного расширения n-молей флюида в капсуле прибора «ВД» при повышении температуры на один градус.

Зная исходную навеску исследуемого минерала, можно определить величину F-показателя из расчета на 1 моль или 1 кг образца и перейти к принятой системе СИ энергетических показателей, т. е. получить его значения в Дж/моль · град или Дж/кг · град.

Кроме того, экспериментальное определение температурного интервала газовыделения для каждой системы флюидных включений позволяет рассчитать интегрированную величину F-показателя исследуемой пробы, суммируя частные значения F-показателя флюидоактивности:

$$F_{\text{общ}} = \Delta t_1 F_1 + \Delta t_2 F_2 + \dots + \Delta t_n F_n,$$

(3)

где $F_{\text{общ}}$ - интегрированная величина всех показателей флюидоактивности;

Δt - температурный интервал газовыделения для каждой системы флюидных включений.

По отношению величин $\Delta t_n F_n / F_{\text{общ}}$ можно количественно оценить энергетический вклад каждой системы флюидных включений в общую энергоемкость флюидной фазы системы «минерал-порода-флюид». Так как каждая система флюидных включений в образце характеризует определённую стадию минерало- и рудообразования, это отношение объективно

характеризует интенсивность данной стадии (Гамов М.И, Труфанов В.Н., Рыбин И.В. и др. 2014)

2.5.3 Газовая хроматография систем «минерал-порода-флюид»

Определение состава выделяющихся при нагревании исследуемых проб газообразных продуктов проводилось на хроматографе ЛХМ-80, конструктивно соединенном с вакуумным декриптографом ВД-4, что дает возможность проводить качественный и количественный анализ летучих в любом заданном температурном интервале (**Рисунок 2.6, 2.7**).



Рисунок 2.6 - Общий вид газового хроматографа ЛХМ-80, конструктивно соединенного с вакуумным декриптографом ВД-4

Хроматография – это физико-химический метод разделения и анализа смесей, основанный на распределении компонентов смесей между неподвижной и подвижной фазами. Из большого количества существующих способов определения состава газов одним из наиболее достоверных и быстрых является хроматографический, который может применяться при использовании приборов типа ВД, совмещенных с газовыми хроматографами.

Суть метода заключается в перемещении смеси газов в хроматографической колонке вдоль сорбента потоком газа-носителя. При этом происходит многократное повторение процессов сорбции и десорбции, что и обуславливает разделение сложных смесей (Александрова Э.С., Миронова О.Ф. 1978; Малахов В.В. 1977; Шугурова Н.А. 1968).

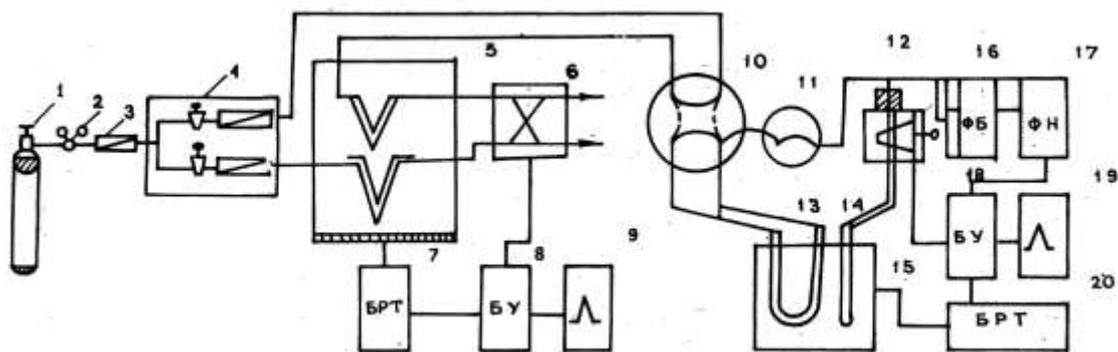


Рисунок 2.7 - Принципиальная схема коммутации вакуумного декриптографа с газовым хроматографом ЛХМ-80

Примечание - 1 – баллон с газом-носителем; 2 – понижающий редуктор; 3 - осушитель газа; 4 – блок подготовки газа; 5 – блок анализатора с разделительными колонками; 6 – детектор катарометр; 7, 20 – блоки регулировки температур (БРТ); 8, 18 – блоки управления (БУ); 9 – потенциометры; 10 – кран-дозатор хроматографа; 11 – перепускной вакуумный кран; 12 – интеграционная камера декриптометра; 13, 14 – кварцевые капсулы-реакторы; 15 – нагревательная печь; 16 – форбаллон (ФБ); 17 – форвакуумный насос (ФН)

Предварительная подготовка проб к анализу начиналась с тщательного макро- и микроскопического исследования образцов (описание структурных и текстурных особенностей, однородности состава и строения минеральных агрегатов, установления парагенетической связи сосуществующих минералов и т.п.) и включало их измельчение, приготовление навески пробы для выполнения вакуумно-декриптометрического анализа (ВДА) и газовой хроматографического анализа (ГХА). Измельчение пробы производилось вручную с помощью фарфоровых и агатовых ступок, в зависимости от твердости и состава материала, при этом, необходимым требованием являлось сохранение стерильности пробы, контролируемой просмотром под биноклем.

Фракционирование производилось с помощью стандартного набора сит для выделения фракций, оптимально пригодных для анализа. Правильный выбор фракции обеспечивал получение наиболее качественных и устойчивых характеристик декриптограмм и хроматограмм. Рабочая фракция для ВДА и ГХА – это размер частиц $-0,5+0,2$ мм.

Порядок проведения ГХ-анализа. Методика проведения газовой хроматографического анализа заключается в том, что предварительно обработанная проба образца определенной навески, которая в зависимости от газонасыщенности варьируется от 5 мг до 200 мг, засыпается в U-образную кварцевую капсулу хроматографа. Для удаления сорбированного пробой и попавшего в пробирку атмосферного воздуха с помощью крана-дозатора проводится дегазация капсулы с образцом. После этого она устанавливается в печь и поинтервально нагревается в

соответствии с результатом предварительного анализа этой же пробы на вакуумном декриптографе. После окончания первого интервала нагрева, выделившиеся газообразные продукты в виде газовой «пробки» вводятся краном-дозатором в хроматографическую колонку с полисорбом, где H_2 , N_2 , O_2 , CO – не разделяются и по выходу из колонки регистрируются одним общим пиком. После этого они поступают в линию задержки газов, которая обеспечивает запаздывание их поступления в колонку с цеолитами. В это время на хроматограмме регистрируются пики углекислого газа, сероводорода, воды, азота, кислорода и газообразных углеводов.

Таким образом, ввод проб газов в прибор повторяется столько раз, сколько декрипционных эффектов зафиксировано для данного образца. Результатом анализа является хроматографическая кривая в виде пиков, где площадь каждого пика пропорциональна содержанию определенного компонента газовой смеси.

Конечным результатом интерпретации и обобщением полученных данных по всем направлениям исследований является определение геолого-структурных особенностей, вещественного состава и термобарогеохимических условий формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса (Труфанов В.Н., Труфанов А.В., Рыбин И.В. 2015).

2.6 Определение качества пород для кирпича

Для проведения данных исследований использовался ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». В качестве добавок для кирпичного сырья пригодны все метасоматиты в связи с их высокой механической прочностью.

2.7 Определение фильтрационных свойств

Для проведения данных исследований использовался ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия». В качестве фильтрующих материалов подходят псевдолидидит и псевдокварцолит.

2.8 Автоклавное моделирование процессов трансформации кварц-углеродистых метасоматитов

Одной из актуальных задач данной работы является применение методов и технологий комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов с извлечением из них макро+микроэлементов на основе использования надкритических эффектов «обратного»

взрыва, обнаруженного в 70-80-х годах прошлого века (Труфанов В.Н., Майский Ю.Г., Прокопов Н.С. и др. 1974).

Настоятельная необходимость решения этой задачи определяется не только постоянно возрастающими потребностями народного хозяйства в различных видах минерального сырья, но и диктуется стремительным проникновением человека в космос и в глубинные зоны земной коры, характеризующиеся экстремальными термодинамическими условиями. Именно здесь, на "острие" научно-технической революции правомерно ожидать открытия новых явлений и закономерностей в окружающей нас природе, дальнейшего развития представлений о строении и свойствах вещества.

Полученные ранее данные показывают, что в условиях взрывообразного перехода от высоких давлений к вакууму («обратный» взрыв) можно не только синтезировать самые разнообразные продукты с заданными свойствами, но и разрушать или расщеплять достаточно сложные и прочные в кристаллохимическом отношении полиминеральных вещества с дальнейшим их фракционированием на простые химические соединения и целевой экстракцией макро+микроэлементов. Эти выводы получили экспериментальное подтверждение в дальнейшей серии исследований по углеводородной флюидизации ископаемых углей Восточного Донбасса (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2004).

В результате этих исследований были установлены многочисленные факты деструкции систем «уголь-флюид» для углей средних стадий метаморфизма с получением легких и тяжелых фракций, синтезом высокоэнергетических модификаций углерода («серебристый углерод») и концентрацией макро+микроэлементов в продуктах трансформации угольного вещества.

Природа эффектов, сопровождающих «обратный» взрыв, во многих аспектах остается пока невыясненной и требует постановки целенаправленных экспериментальных работ, однако не вызывает сомнения, что их изучение откроет новые возможности для синтеза минералов и получения химически чистых веществ.

В ходе исследований была использована модернизированная установка для изучения процесса переработки минерального сырья в условиях «обратного» взрыва (БАР-1М) (Труфанов В.Н., Тимченко Н.А., Прокопов Н.С. и др. 1982) (**Рисунок 2.8**), определены оптимальные термодинамические барьеры деструкции системы «уголь-порода-флюид» и экстракции макро+микроэлементов, установлены принципиальные возможности применения новых методов расщепления органического вещества углей на отдельные компоненты с целью получения химически чистых веществ, монокристаллов и поликристаллических агрегатов. Разработана программа и методика экспериментальных работ по теме диссертации.



Рисунок 2.8 - Общий вид установки БАР-1М и ее составных элементов.

2.8.1 Теоретические основы метода

Предварительные результаты, полученные при изучении особенностей расщепления и синтеза минералов в условиях резких, взрывообразных перепадов давления, показывают, что этот процесс принадлежит к категории сложных фазовых взаимодействий в системах типа "флюид-твердое", сочетающих многообразные физико-химические, газогидродинамические, кристаллохимические и молекулярно-кинетические явления (Зельдович А.Б., Райзер Ю.П. 1966; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Прокопов Н.С. и др. 2012; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рыбин И.В. и др. 2013).

На основании наиболее общих представлений неравновесной термодинамики, кинетической теории газов и газодинамики можно полагать, что в момент взрывообразного перехода надкритического, сильно сжатого флюида в вакуумированную среду возникает перемещающаяся ударная волна, которая сопровождается скачкообразными изменениями основных параметров состояния вещества: структуры, плотности, давления и температуры. За ударной волной следует контактная (фазовая) поверхность, разделяющая толкающий флюид и вакуумированную рабочую среду. После встречи с препятствием (например, стенкой камеры) образуется отраженная взрывная волна, движущаяся навстречу прямой и, тем самым, создаются предпосылки для явлений интерференции. При определенной конфигурации флюидного потока возможны резкие, скачкообразные изменения скорости движения струи газа от дозвуковой к гиперзвуковой, сопровождающиеся конденсационными скачками и кавитационными эффектами. Гидродинамическая кавитация вызывает, в свою очередь, локальные термодинамические аномалии, так как в участках схлопывания газовых пузырьков развиваются

давления до $10^4 - 10^5$ атм., а температура – до 10^4 К⁰ (Грановский А.Г. 1978; Перник А.Д. 1966).

Очевидно, что чем больше перепад давлений между камерой высокого давления и вакуумной средой, тем более высокой будет кинетическая скорость движения молекул надкритического флюида и тем более высокоэнергетическими - кавитационные термодинамические аномалии.

Если в таком термобарогradientном поле поместить минерал или растворить в надкритическом флюиде какое-нибудь вещество с анизотропными свойствами, то возникающие весьма высокие флуктуации температур, давления и плотности приведут к его разрушению, разрыву химических связей, ионизации молекул с появлением новых химических соединений или индивидуальных более простых продуктов (вплоть до простых веществ). В локальных участках повышенных барических нагрузок можно ожидать синтез высокоэнергетических модификаций веществ и кристаллов с аномально высокой плотностью. Теоретическое обоснование этой возможности применительно к синтезу алмаза дано в статье известного специалиста в области геохимии углерода Э.М. Галимова (Галимов Э.М. 1973). Таким образом, преимущество выбранного мною направления экспериментальных работ заключается в комплексном воздействии на вещество одновременно несколькими высокоэффективными факторами – большими перепадами давления и температуры в сочетании с микрокавитационными явлениями, скачками плотности и различными электрохимическими эффектами.

Действие каждого из этих факторов может быть усилено путем подбора различных технических вариантов исполнения метода - от создания установок типа ударных аэродинамических труб до устройств, сочетающих автоклавную аппаратуру с высоковакуумными градиентными кристаллизаторами. Одним из возможных решений является разработанная установка БАР-1М, позволяющая проводить переработку минерального сырья в широком диапазоне контролируемых условий, в том числе и методом встречных флюидных пучков.

2.8.2 Описание автоклавной установки БАР-1М

В соответствии с программой работ основными техническими условиями для исследования процесса термобарогradientного расщепления и синтеза минералов при фазовых переходах являются:

- 1) Обеспечение надежного и быстрого (взрывообразного) перехода в среде кристаллизации от высокого давления (до 1500 атм.) к вакууму ($n \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст.) в диапазоне температур от 500 до 20°C;

2) Возможность создания высоких перепадов давления и температуры в надкритическом флюиде, движущемся с гиперзвуковой скоростью;

3) Возможность изучения процессов, протекающих в условиях «обратного» взрыва и продуктов синтеза;

4) Устойчивость блоков и узлов установки к перепадам температуры и давления;

5) Автоматический контроль термодинамического режима работы установки;

6) Безопасное ведение экспериментальных исследований;

Разработанная с учетом этих условий установка состоит из следующих основных частей:

а) Автоклав;

б) Переходник;

в) Вакуумная реакционная камера;

г) Труба для откачки воздуха;

д) Система обеспечения вакуума;

е) Нагревательный блок;

ж) Система регистрации и контроля параметров процесса;

з) Блок противопожарной защиты и аварийного отключения;

На **рисунке 2.9** приведена принципиальная схема автоклавной установки БАР-1М.

Автоклав представляет собой цилиндрическую емкость, выполненную из нержавеющей стали марки X18H9T. Рабочий объем автоклава представляет собой цилиндрическую полость. Кромка автоклава имеет коническую форму и служит для задавливания уплотнительных перопластовых колец и медных мембран. В теле автоклава сделаны проточки для помещения термопар, а снаружи его - лыски под ключ.

Переходник представляет собой стакан Д-образной формы, выполненный из нержавеющей стали марки X18H9T. Рабочий объем переходника представляет собой цилиндрическую полость. Кромка и борозда имеют коническую форму и служат для задавливания уплотнительных перопластовых колец и медных мембран. На внешней части переходника сделана резьба с одной стороны и шестигранная гайка с другой стороны для ключа.

Вакуумная реакционная камера представляет собой полый цилиндр, изготовленный из жаропрочной вакуумной стали с четырьмя отверстиями для: ввинчивания автоклава или переходника, вставки стакана и подсоединения к вакуумной системе декриптографа. Тыловое отверстие, где вставляется стакан, и одно из боковых отверстий камеры герметически с помощью болтов и уплотнительного кольца закрывается крышкой. Места сочленения автоклавов с камерой герметизируются мембранами. В стенках стакана-вкладыша камеры вырезаны круговые отверстия для размещения мишеней.

Система обеспечения вакуума включает насос предварительного разрежения (типа ВН461 М). В конструктивном решении вакуумной системы предусмотрено отключение и перекрытие насоса вентилем до начала нагрева автоклава.

Нагревательный блок состоит из набора различных по размеру и мощности цилиндрических печей накаливого типа, рассчитанных на нагрев автоклавов до 1000°C.

Система регистрации и контроля параметров процесса включает термопару типа ТХА и терморегуляторы Nitech и Autonics с максимальным напряжением 400 V.

2.8.3 Программа и методика экспериментов на БАР-1М

2.8.3.1 Программа экспериментов на БАР-1М

Предусматривалась реализация следующих экспериментов:

1) Постепенное нарастание давления и температуры в замкнутой системе «минерал-порода-флюид» с последующим снижением РТ-параметров в режиме «закаливания» (стационарный режим);

2) Скоростное истечение (фильтрация) водного пара через трещиноватый (дробленый) метасоматит с флуктуационным нарастанием и скоротечным снижением РТ-параметров в режиме дросселирования;

3) Взрывообразный выброс дробленного метасоматита с водным паром и неравномерным спадом РТ-параметров в режиме «обратного» взрыва.

Запирающие мембраны автоклавов должны обеспечивать длительность выдерживания системы «минерал-порода-флюид» в замкнутом объеме при температуре до 400 °С и давлением до 700 бар.

Давление разрушения (разрыва) этих мембран должно быть более 700 бар.

Здесь надо отметить, что исходные РТ-параметры автоклава могут быть и другие, если эксперименты будут проводиться в надкритических условиях (для H₂O: T = 373.4⁰С, P = 223 атм.).

Исходя из этих технических условий, программа испытаний осуществлялась в 3 этапа:

Первый этап – испытания дробленного метасоматита, флюидных компонентов в виде включений в породе и дистиллированной воды, находящихся в автоклаве, в стационарном режиме до температуры 400 °С и при расчетном давлении до 20 ± 0.1; 50 ± 1 и 70 ± 5 бар с последующим снижением РТ-параметров в режиме «закаливания» (Никаноров А.М., Сианисян Э.С. 1976);

Второй этап – испытания, заключающиеся в дроссельном режиме при скоростном истечении дистиллированной воды через трещиноватый (дробленый) метасоматит и проникновением выносимых веществ через миллиметровое отверстие в середине мембраны в реакционную камеру;

Третий этап – испытания установки БАР-1М в условиях «обратного» взрыва с взрывообразным выбросом из автоклава дистиллированной воды и образцов метасоматитов и исследованием продуктов трансформации кварц-углеродистого вещества, а также экстрагированных макро+микроэлементов.

В каждый этап испытаний входит подготовка исследуемых веществ – углеродистых псевдолидитов, псевдофтанитов, высококремнистых псевдокварцолитов и существенно кварцевых гидротермалитов. В качестве активных компонентов предусмотрено использование дистиллированной воды.

В программе и методике экспериментальных работ широко использовались вакуумные декриптографы: ВД-5, с целью изучения метасоматитов, определения критических параметров их деструкции; ВД-4, совмещенный с газовым хроматографом ЛХМ-80, для изучения состава выделяющихся газов и ВД-6 при установке БАР-1М для откачки вакуума из системы. Эта установка, а именно ВД-5, сконструированная и изготовленная на основе изобретения «Устройство для определения температур газовой выделения» (Демин В.М., Куршев С.А., Майский Ю.Г. и др. 1971), дает возможность получать уникальную информацию о РТХ-параметрах систем «уголь-флюид» и прогнозировать их поведение в условиях «обратного» взрыва.

2.8.3.2 Методика экспериментальных работ

Экспериментальные исследования процессов деструкции системы «минерал-порода-флюид» в условиях взрывообразного перехода от высоких давлений к вакууму в методическом отношении представляют достаточно сложную задачу, так как необходимо не только получить определенные вещества с заданными свойствами, но и восстановить динамику взаимодействия этих продуктов с «рабочим телом», которым в данном случае является надкритический флюид с резко меняющимися термодинамическими свойствами. Исходные вещества находятся в сильно сжатом и разогретом состоянии, затем они попадают в вакуумированную среду, где возникают гидродинамические и газодинамические эффекты, подобные явлениям в ударных аэродинамических трубах (гидравлический удар, кавитация, скачки плотности, ударные волны и т.п.). Весь процесс протекает в очень короткие интервалы времени, измеряемые сотыми-тысячными долями секунды, что также обуславливает дополнительные технические трудности

в проведении экспериментов и в фиксации результатов опытов.

Методика экспериментальных работ включает следующие основные задачи:

- а) Выбор и подготовка исходных веществ;
- б) Создание высоких температур до 600°C и давлений до 1500 атм. в замкнутом объеме;
- в) Вакуумирование рабочего объема (до $n \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст.), где происходит деструкция кварц-углеродистого вещества;
- г) Герметизация всех соединений и стыковочных устройств;
- д) Взрывообразное вскрытие автоклавов, находящихся под высоким давлением при температурах до 600°C , и соединение их с вакуумированным объемом;
- е) Создание очень быстрых перепадов давления и температуры при гиперзвуковых скоростях истечения флюидного вещества;
- ж) Изучение структуры флюидного потока и энергетических полей, сопровождающих процесс деструкции системы «минерал-порода-флюид»;
- з) Автоматический контроль термодинамического режима работы установки;
- и) Разработка мероприятий по безопасному ведению экспериментов;
- к) Исследование полученных продуктов трансформации кварц-углеродистого вещества, а также отработанного конденсата.

На первом этапе работ данный перечень задач представляется наиболее целесообразным и необходимым. По мере проведения экспериментов он будет, несомненно, дополняться и уточняться, так как сейчас невозможно предвидеть всех особенностей процесса и свойств продуктов переработки метасоматитов в условиях «обратного» взрыва.

Выбор и подготовка исходных веществ. Исходными веществами для исследования процесса бароградиентного разрушения минералов и пород были выбраны кварц-углеродистые метасоматиты. Из групп метасоматитов, выделенных по минералого-петрографическим особенностям, будут выбраны представители с максимальными массами проб. В работе предусмотрено определение возможностей применения фазовых переходов для экстракции макро+микроэлементов, получения химически чистых веществ, монокристаллов и поликристаллических агрегатов, обладающих уникальными технологическими свойствами. Поэтому выбор исходных продуктов лимитируется и необходимостью решения в конечном итоге поставленной задачи, хотя подходы к ее конкретному исполнению могут быть разными.

Подготовка исходных веществ заключается в их измельчении. В качестве активного агента применяется дистиллированная вода. Все исходные вещества исследуются методами минералого-петрографического описания, вакуумной декриптометрии, газовой хроматографии, спектрального анализа, рентгеноструктурного анализа, электронной растровой микроскопии.

Создание высоких температур и давлений. Используется наиболее простая методика создания и поддержания необходимых термодинамических режимов экспериментов. Температура достигается за счет контактного нагрева автоклавов и других узлов установки с помощью трубчатых накаливаемых печей, а давление - в результате подбора соответствующих коэффициентов заполнения рабочих объемов автоклавов с использованием таблиц и диаграмм состояния соответствующих водных систем (Самойлович Л.А. 1969). Установка в режим и последующие операции определяются в каждом конкретном опыте в зависимости от поставленной задачи (Рисунок 2.10).

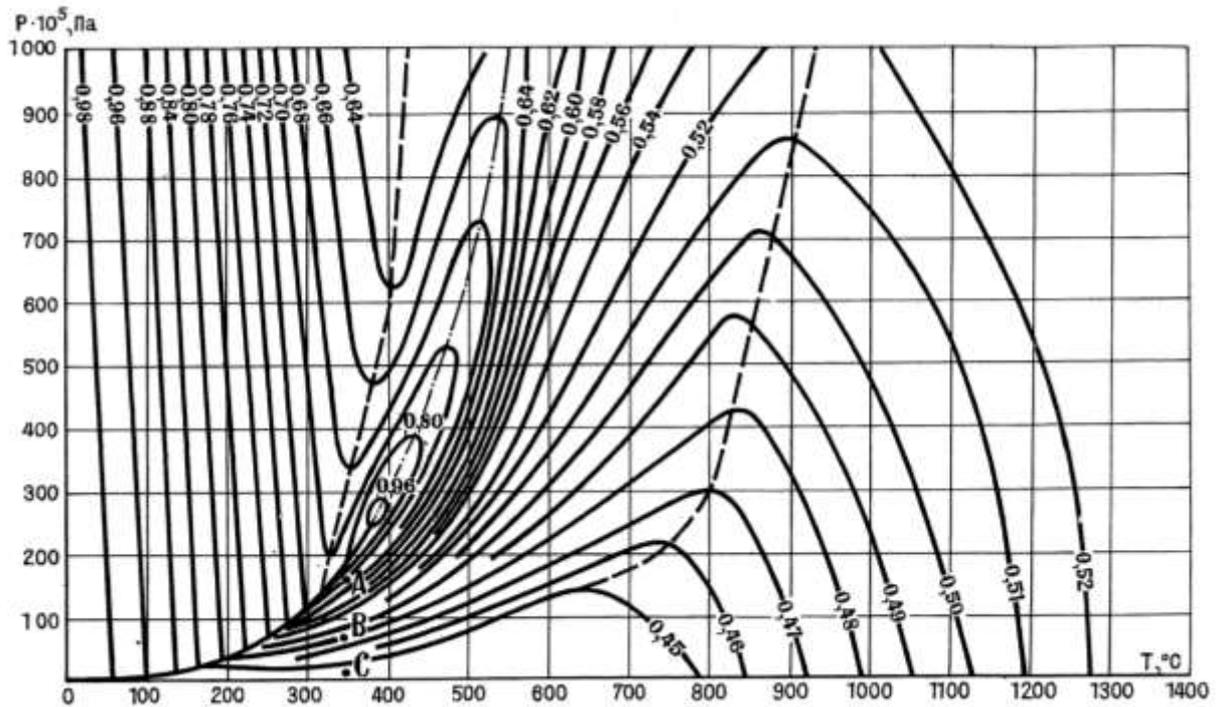


Рисунок 2.10 - P-T-диаграмма состояний воды. (по А.А.Самойлович, 1989)

Вакуумирование рабочего объема установки достигается с помощью форвакуумного насоса типа ВН46І М.

Герметизация соединений и стыковочных узлов. В установке применяется два типа уплотнений: на границах автоклав-переходник и переходник-реакционная камера будут применяться перопластовые мембраны, в реакционной камере и на стыках присоединения полой трубы к вакуумному декриптографу типа ВД-6 – резиновые уплотнители.

Вскрытие реакционных камер автоклавов. Вскрытие автоклавного блока установки осуществляется с помощью давления воды в автоклаве, разрушающего мембрану, разделяющую области высокого и низкого давления. Скорость вскрытия измеряется величинами порядка 0,002-0,005 сек.

Создание перепадов давления и температуры. Перепады давления и температуры в

установке создаются в разных режимах за счет разных технических моментов, а именно, медных перегородок в виде мембран, заполнения автоклава водой, степени заполнения переходника пробой, работы вакуумного насоса.

Контроль термических режимов работы установки. Заданные термические режимы экспериментов поддерживаются автоматически с помощью терморегуляторов Hitech и Autonics с максимальным напряжением в 400V. Максимальные отклонения температуры составляют $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Исследование продуктов переработки минерального сырья. Продукты переработки минерального сырья исследуются оптической и электронной микроскопией, термобарогеохимическим, рентгеноструктурным, спектральным анализами. Специфика аналитических и диагностических работ состоит в том, что получаемые бароградиентным методом вещества нередко метастабильны и с течением времени могут самопроизвольно изменяться. Поэтому возникает необходимость многократных последовательных анализов.

Как показали предварительные опыты, одной из новых и хорошо зарекомендовавших методик является вакуумная декриптометрия с применением специально разработанного прибора - вакуумного декриптографа ВД-5, позволяющего фиксировать фазовые превращения в продуктах синтеза с одновременной регистрацией эффектов выделения газообразных продуктов их качественного и количественного анализа.

ВЫВОДЫ:

1) Разработана методика комплексных полевых и лабораторных исследований кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, включающая геолого-структурный анализ фациальных условий их формирования, минералого-петрографические, термобарогеохимические исследования, включающие гомогенизацию, вакуумную декриптометрию и газовую хроматографию, специальные виды анализов минерального вещества – рентгеноструктурный, эмиссионный полуколичественный спектральный, растровую электронную микроскопию с применением современного прецизионного оборудования.

2) Модернизирована автоклавная установка БАР-1 для переработки минерального сырья, на которой выполнен комплекс исследований процессов деструкции природных систем «уголь-порода-флюид» при экстремальных термодинамических параметрах.

3) Определены перспективы развития современных методов исследования процессов углеводородной флюидизации ископаемых углеродных массивов, содержащих кварц-углеродистые метасоматиты, продуктов их обогащения и переработки как нетрадиционных видов минерального сырья.

3. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦ- УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ

3.1 Общая характеристика геологического строения Восточного Донбасса

Восточный Донбасс - одна из основных угольных баз европейской части России. По существу, он представляет половину Донецкого бассейна, целиком входящую в Ростовскую область Российской Федерации.

Восточный Донбасс расположен к востоку от границы Украины с Россией и прослеживается до Цимлянского водохранилища (Западно-Калмыцкого поднятия). Южное ограничение его совпадает с цепочкой Манычских озер, а северное проводится по границе замещения терригенных отложений карбона известняками между г. Миллерово и ст. Чертково (на широте с. Алексеево-Лозовского) (**Рисунок 3.1**).

Угленосный Восточный Донбасс является классическим авлакогеном, расположенным между Воронежским кристаллическим фундаментом и Азовским (Ростовским) выступом кристаллического фундамента.

Восточный Донбасс иногда рассматривался как часть Донецкого бассейна в пределах Ростовской области (включая и часть Северного Донбасса), в других случаях - как часть Донбасса, находящаяся восточнее Ровеньковского (Центрального) поднятия, т.е. западная его граница определялась по разным признакам: по геологическому (структурному) и по чисто условному - административно-территориальному делению. Последний принцип стал главным после того, как граница между Украиной и Ростовской областью стала государственной. Другие ограничения Восточного Донбасса обусловлены распространением промышленной угленосности и оговорены выше.

3.1.1 Стратиграфия

Недра Восточного Донбасса сложены образованиями карбона, перми, триаса, мела, палеогена и неогена (**Рисунок 3.2**). Основная часть их объема принадлежит карбону. Угленосные, каменноугольные отложения играют главную роль в формировании промышленного потенциала территории. Они представлены всеми тремя отделами и имеют полный, практически непрерывный разрез осадков. В основном это толща переслаивания

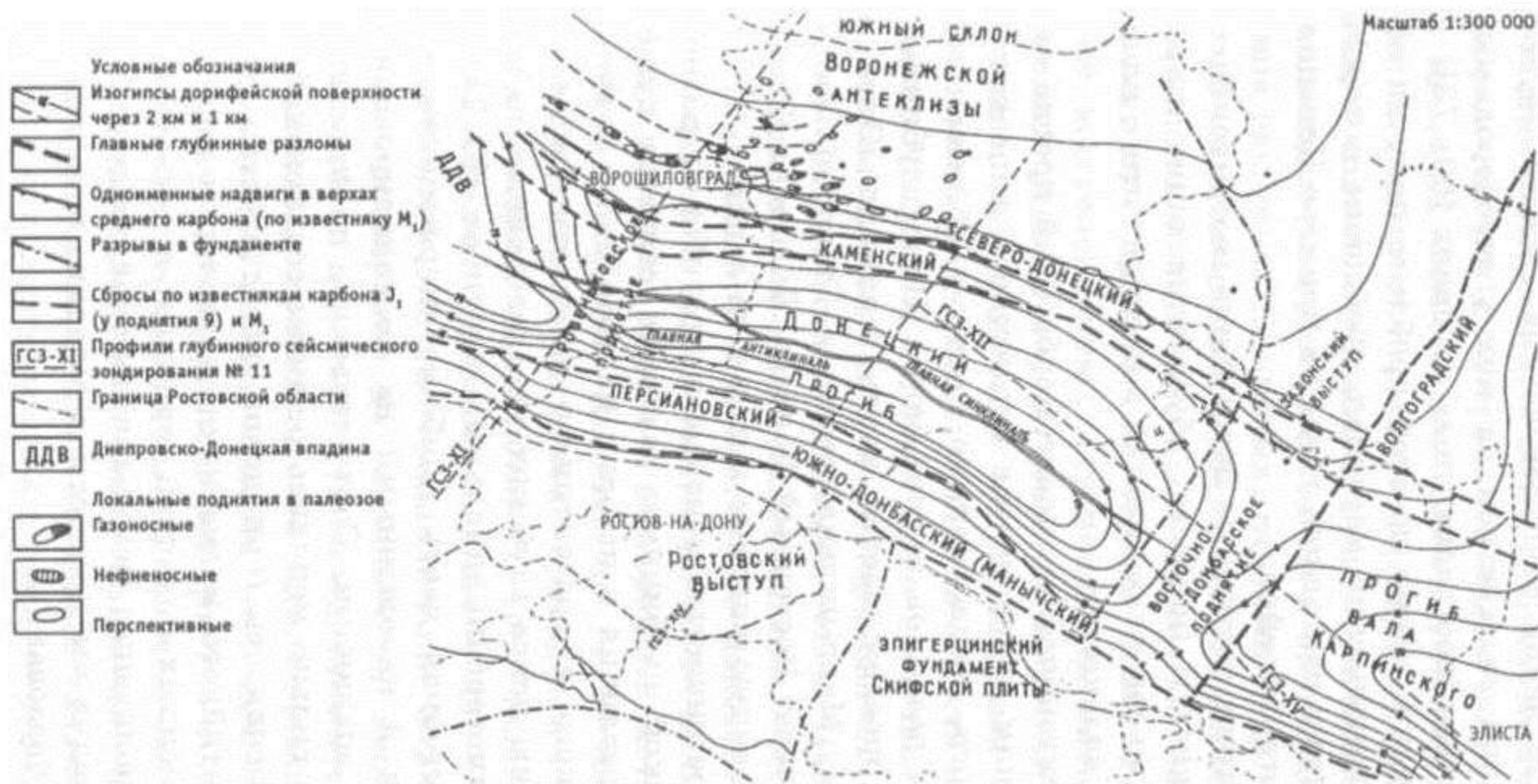


Рисунок 3.1. - Тектоническая схема допалеозойского фундамента в пределах Ростовской области (составил И.И. Потапов с использованием материалов: М.И. Бородулина, В.А. Двуреченского, М.А. Кикиной, В.Р. Лозовского, Е.В. Мовшовича, В.А. Разница, П.Н. Тихонова, Е.Н. Федоренко, М.Л. Хацкеля, Г.В. Чернявского, В.П. Щербакова)

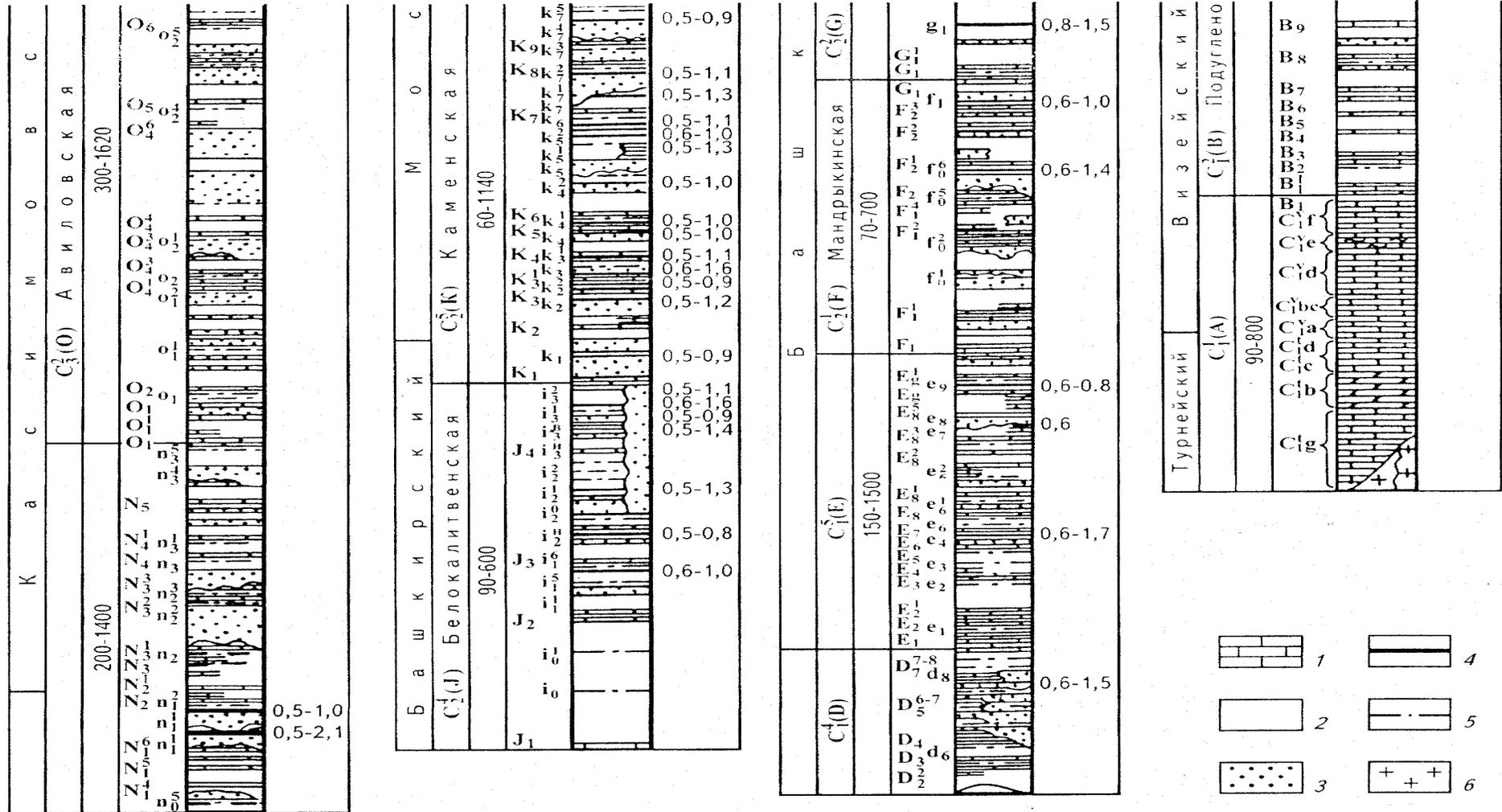


Рисунок 3.2 - Сводный литолого-стратиграфический разрез карбоновых отложений Донбасса.

Примечание - 1-известняки; 2-аргиллиты и алевролиты; 3-песчаники; 4-угольные пласты рабочей мощности; 5-угольные пласты нерабочей мощности; 6-кристаллический фундамент

песчаников, алевролитов и аргиллитов с пластами и прослоями известняков и углей. Эти осадки характеризуются многократным чередованием морских и континентальных отложений, большим количеством разных видов морской и пресноводной фауны и флоры, постоянством на значительных площадях разреза толщи и выдержанностью пластов известняков и угля. Такие особенности отложений Донбасса позволяют детально расчленять разрезы, сопоставлять их между собой, прослеживать выделенные интервалы на площади, чему благоприятствует сравнительно хорошая обнаженность части описываемой территории. Полная охарактеризованность каменноугольных отложений фауной и флорой позволила разделить их на ярусы, а последние - на зоны и сравнить с карбоном других регионов России, Западной Европы и т.д.

В мощной терригенной толще карбона были выделены характерные циклы осадконакопления, пронизанные пластами известняков и углей, взаимное расположение которых в разрезах выдерживается на значительных площадях. Именно они и составляют как бы каркас свит и вычленяют детали их строения. В настоящее время в нижнем отделе каменноугольной системы выделяются четыре свиты, в среднем - восемь, в верхнем - три.

В основании каменноугольных отложений Восточного Донбасса на кристаллических породах Украинского и Воронежского щитов залегают мощные карбонатные толщи. На юге, по Миусу, они представлены свитой C^1_1 , на севере включают весь нижний карбон и свиты C^5_1 , C^1_2 , C^2_2 среднего карбона. Мощности их, несмотря на разный стратиграфический объем, примерно равны и составляют 500-600м. Но при движении к югу мощность карбонатной толщи в Миллеровском районе составляет уже около 1000м. В Миусском районе карбонатные породы свиты C^1_1 вверх по разрезу сменяются терригенными отложениями свит $C^2_1 - C^4_1$ с прослоями известняков и редкими угольными прослоями. Они практически не изучены. Залегающие выше свиты среднего карбона C^5_1 , C^2_1 и C^2_2 представлены также терригенными осадками с содержанием в первой до 75 тонкозернистых пород, во второй - 75 алевропесчаных, а в третьей - немногим более 70% песчано-алевритовых пород. Прослой известняков составляют 0,5-1,0%, угли (нерабочие прослой) - 0,2-0,6%. Мощности свит составляют соответственно 1270, 470 и 820 м. Свиты C^2_1 и C^2_2 известны также в Шахтинско-Несветаевском районе. Их мощности равны 450 и 810м и в них также отмечается повышенное содержание песчаников. Свиты не содержат рабочих угольных пластов.

Вышележащие свиты среднего карбона несут рабочие угольные пласты и имеют довольно широкое распространение на площади, за исключением свиты C^3_2 . Последняя выходит на поверхность и вскрыта скважинами на западе территории в Шахтинско-Несветаевском, Сулино-Садкинском, Гуково-Зверевском и Каменско-Гундоровском районах, а также в Миллеровском районе, где она неугленосна. Мощность свиты увеличивается с севера

на юг от 247 в центре Миллеровского района и 480 на юге этого района до 830м на юге Каменско-Гундоровского района и 1330м в Шахтинско-Несветаевском районе. В обратном направлении растет содержание в разрезе свиты известняков: от 0,2 в последнем районе, через 1,2 - в Каменско-Гундоровском, 2,9 - на юге и 8,9% - на севере Миллеровского района. В разрезе отмечается явное преобладание алевролитов и аргиллитов (65-85%). Угленосность низкая - до 0,6-0,8%.

Свита C^4_2 - единственная угленосная только в Восточном Донбассе. Она содержит от трех до пяти угольных пластов рабочей мощности. Коэффициент промышленной угленосности 0,25-0,40 увеличивается к северо-востоку благодаря уменьшению общей мощности свиты. Это преимущественно песчано-алевритовые породы в юго-западной части территории, а на остальной - глинисто-алевритовые (более 70%). Мощность свиты постепенно уменьшается с юга на север от 710 до 560 м в пределах открытого Донбасса и 335-139 - за Каменским надвигом. К востоку также отмечается некоторое уменьшение ее мощности. Так, на севере региона, в Каменско-Гундоровском районе, мощность свиты составляет 560, в Белокалитвенском - 510, Тацинском - 480, а на юге, в Шахтинско-Несветаевском районе - 710, в Задонском - 700 м.

Свита C^5_2 представляет собой наиболее промышленно освоенную часть разреза каменноугольных отложений Восточного Донбасса. На большей части территории она имеет песчано-алевритовый состав, а в Миллеровском, Цимлянском и Задонском районах в ней резко возрастает содержание глинистых пород. В свите отмечается от 16 до 23 пластов и прослоев известняков. Содержание последних увеличивается с юга на север от 1 до 12% в Миллеровском районе. Мощность свиты на юге составляет 1180м и постепенно уменьшается к Миллеровскому району до 208м. Отмечается увеличение мощности свиты к востоку: на севере региона от 580м. в Каменско-Гундоровском районе до 810м в Цимлянском (через 670 и 700м соответственно в Белокалитвенском и Тацинском районах), на юге - от 1180м в Шахтинско-Несветаевском до 1360м в Задонском районах.

В вышележащих двух свитах среднего карбона C^6_2 и C^7_2 заметно увеличивается (до 10-25%) содержание известняков, возрастает мощность отдельных пластов и прослоев, а количество песчаников уменьшается и не превышает 25% на большей части территории. Эта тенденция особенно заметна в северных районах региона. В разрезе свит явно преобладают аргиллиты и алевролиты. Угленосность, несмотря на большое число угольных прослоев, понижена. Рабочей мощности достигает, по существу, один пласт в свите C^6_2 (1_6) и один пласт в свите C^7_2 (m^1_8). Мощность свит закономерно возрастает с севера на юг и с запада на восток. Свита C^6_2 увеличивает свою мощность от 260м. в районе Миллерово до 700м в пределах Шахтинско-Несветаевской синклинали, а свита C^7_2 соответственно от 228 до 920м. В Каменско-Гундоровском районе мощность свиты C^6_2 425м, а в Белокалитвенском и Тацинском умень-

шается до 400м, но в Цимлянском районе составляет 560м. Свита C^7_2 в этих районах имеет мощность соответственно 430, 690, 680 и 840м. По югу территории мощности свит возрастают: C^6_2 - от 700 до 780м, C^7_2 - от 920 до 1050м.

В верхнем карбоне промышленная угленосность отсутствует, хотя в свитах C^1_3 и C^2_3 встречается до 10 угольных прослоев. Отложения свит верхнего карбона распространены в основном на севере и северо-востоке Восточного Донбасса, и только свита C^1_3 отмечена в Задонском и Сулино-Садкинском районах. В низах свиты C^1_3 преобладают тонкозернистые терригенные породы, но к верхам ее увеличивается содержание песчаников, которые в свите C^2_3 составляют до 50% разреза. В северной и северо-восточной частях Восточного Донбасса в свитах верхнего карбона большое место занимают известняки (до 25-35%), многие из них имеют мощность до 25-35м. Верхняя часть свиты C^1_3 и вышележащие свиты сложены пестроцветными отложениями, что указывает на смену гумидного климата на аридный. Мощность свиты C^1_3 в Белокалитвенском районе 775, в Тацинском - 700, на юге Миллеровского района - 402, на севере Каменско-Гундоровского - 508, а свита C^2_3 в первом районе - 970м. Мощность свиты C^3_3 , вскрытой в Тацинском районе на склоне Воронежского массива, составляет 225м. Известняки в ее разрезе слагают 19% разреза, мощность их достигает 4-9м. Песчаники мелкозернистые и составляют 17% разреза. Большой объем свиты приходится на аргиллиты и алевролиты, иногда красноцветные.

Пермские отложения вскрыты скважинами севернее Каменского надвига и прослеживаются восточнее р. Б. Калитвенец. Здесь выделен швагериновый горизонт мощностью 225м, который согласно залегает на породах верхнего карбона. Горизонт относится к нижней перми, предположительно к казанскому и татарскому ярусам.

Отложения триаса развиты также севернее Каменского надвига. Они представлены переслаиванием пестроокрашенных песчаников и алевролитов. Среди них встречаются прослой мергелей и глинистых детритусовых известняков. В основании толщи встречаются прослой конгломератов. Толща с размывом лежит на разных горизонтах палеозоя. Мощность ее 290м.

Чехол мезозойско-кайнозойских пород распространен по периферии открытой части Восточного Донбасса. Он сложен породами верхнего мела, палеогена и неогена. Мощность его увеличивается по мере удаления от открытого Донбасса до нескольких сотен метров.

Изверженные породы. В Восточном Донбассе они известны в Миусском, Шахтинско-Несветаевском и Задонском районах, между реками Миус и Сал, где эти породы обнажаются или вскрыты скважинами и горными выработками шахт более чем в 150 пунктах. Изверженные породы образуют тела, секущие вмещающие породы (дайки, лакколиты и штоки) или лежащие согласно с ними (силлы). Мощность даек колеблется от нескольких дециметров до 4-6м, простирание их чаще совпадает с простиранием пород или образует с ним острый угол, реже

является поперечным. Залегание - близкое к вертикальному. Дайки протягиваются на несколько метров или десятков метров, редко на сотни метров. Чаще всего такие тела образованы основными и ультраосновными породами, реже андезитовыми порфиритами.

Крупные тела интрузивных пород типа штоков или лакколитов достигают первых сотен метров в поперечнике (у с. Алексеевка на р. Мал. Несветай или у х. Новоивановка на р. Аюте). Они представлены андезитовыми порфиритами или дацитовыми порфирами. Буровыми скважинами вскрыты крупные межпластовые тела, залегающие согласно с вмещающими породами. На Керчикском поднятии такое тело прослежено на 3,6 км по простиранию и до 1 км по падению. Мощность межпластовых интрузивных внедрений может меняться от долей метра до нескольких десятков и даже первых сотен метров.

По петрографическому составу среди изверженных пород отмечаются все разности - от ультраосновных до кислых: лампрофиры, базальтовые и андезитовые порфириты, дацитовые и кварцевые порфиры.

Контактные изменения изверженных и вмещающих пород незначительные и заметны только на первых сантиметрах от контакта. Во вмещающих породах отмечается окварцевание и серицитизация, в изверженных - уменьшение зернистости, карбонатизация. Угли на контакте уменьшают блеск.

По определениям абсолютного возраста магматизм проявлялся в широком интервале времени - от позднепермского до раннеюрского. Наиболее древним является базальтовый порфирит из обнажения на р. Правый Тузлов (260 млн лет).

3.1.2 Тектоника

Складчатые структуры. Складки Восточного Донбасса открытые, прямые или слабонаклонные концентрические. Пережатые, изоклинные складки в бассейне не отмечены. Наклон осевых поверхностей обуславливается асимметричностью падения крыльев. Очень редко он достигает значительных размеров, опрокинутое залегание слоев встречается в единичных случаях. Мощность пачек слоев сохраняется постоянной на крыльях и в замках складок, что подтверждается построением многих тысяч разрезов по скважинам через различные структуры. Очень редко встречается увеличение мощности отдельных глинистых слоев или пластов угля (например, на шахте 6-14 в Тацинском районе) в замках узких антиклиналей. Довольно часто на крыльях складок отмечаются локальные тектонические пережимы пластов угля, вещество которых передроблено. Незначительная мощность пластов по сравнению со всей толщиной, а также локальное проявление тектонических пережимов не оказывают существенного влияния на изменение мощности пачек слоев на крыльях складок и в

их замках. Поэтому складки в абсолютном большинстве принадлежат к концентрическому типу, что позволяет широко применять принцип построения разрезов по нормальным мощностям стратиграфических колонок.

Отмеченные особенности характерны для всех складок Восточного Донбасса. В то же время складки отличаются друг от друга размерами, формой, сочетаниями друг с другом на площади и в разрезе (**Рисунок 3.3, 3.4**).

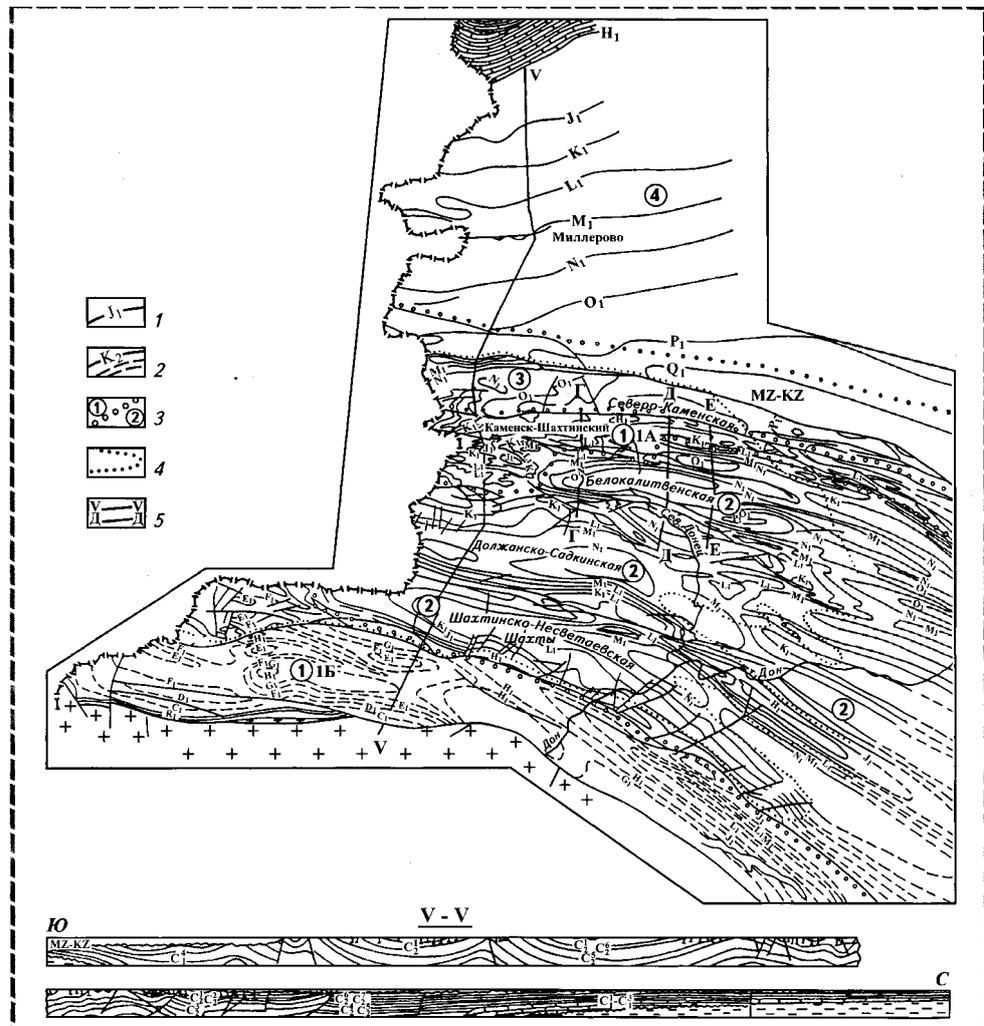


Рисунок 3.3 - Геолого-структурная схема Восточного Донбасса (по Н.Т. Жуковскому)

Примечание - 1-известняки, их индексы; 2-угольные пласты; 3-границы зон типов складчатости: (1) – зона полной складчатости (1А-северная подзона, 1Б-южная подзона); (2)-зона промежуточной складчатости, (3)-зона прерывистой складчатости, (4)-Миллеровская моноклираль; 4-граница распространения мезозойского-кайнозойских отложений; 5-линии геологических разрезов

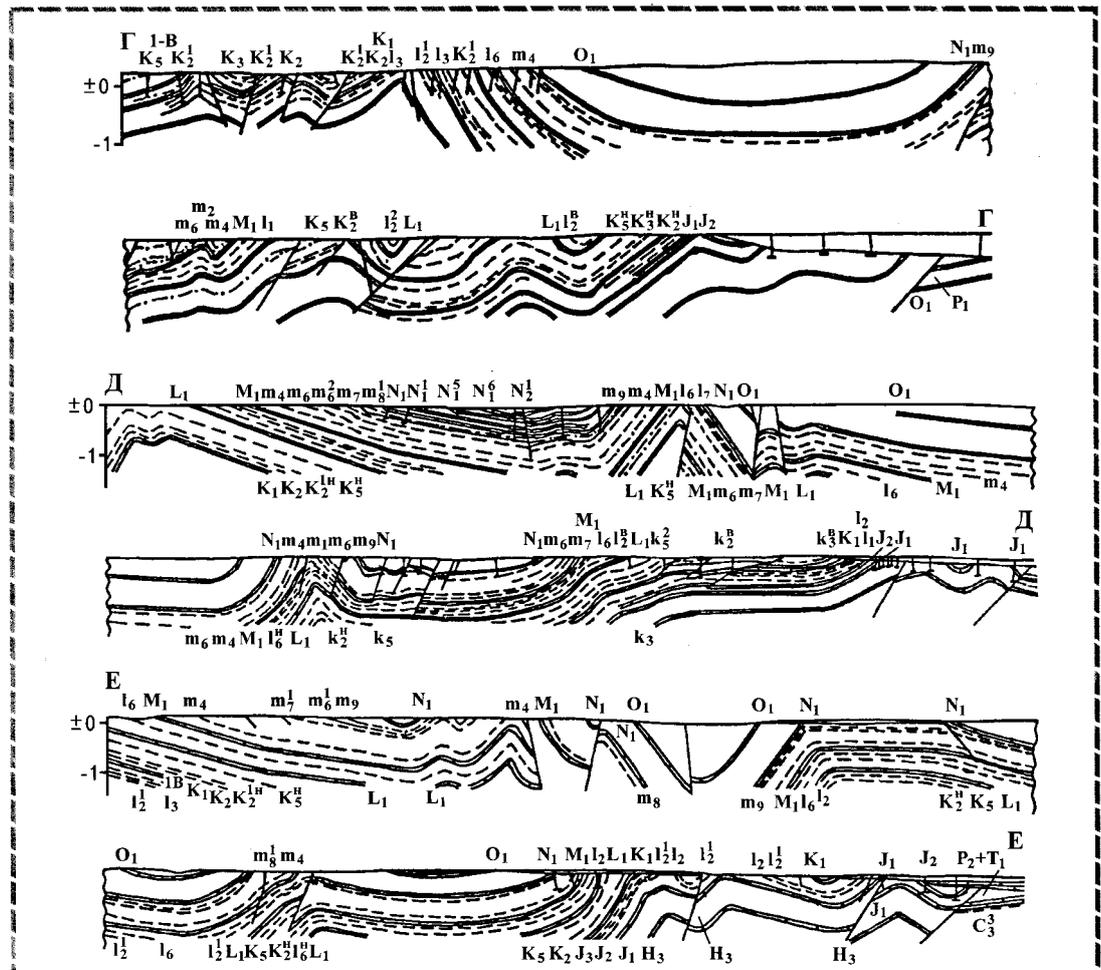


Рисунок 3.4 - Геологические разрезы Восточного Донбасса (к геолого-структурной карте, см. рисунок 3.3)

Примечание - 1-известняки, их индексы; 2-угольные пласты, их индексы; 3-разрывные нарушения

Обращает на себя внимание подобие форм, заметно различающихся по размерам синклиналей Восточного Донбасса, занимающих значительную площадь этой части бассейна (см. **Рисунок 3.3**). К ним относятся Шахтинско-Несветаевская, Должанско-Садкинская, Краснодонская, Белокалитвенская, Жирновская, Фоминская, Горняцкая, Дуванная и Суходольско-Гундоровская синклинали. Основная их особенность - наличие слабонаклонного или почти горизонтального «днища» и крутых (до 40-70°) крыльев. Замки складок, т.е. участки перегиба слоев с падением одного направления на противоположное оформлены по-разному (см. **Рисунок 3.4**).

Синклинали ограничиваются различными по высоте антиклиналями с узкими, иногда, возможно, и остроугольными замками. Падение крыльев их крутое и достигает 70-80°. Такими

антиклиналями являются: Главная, Южно- и Северо-Калиновские, Екатерининская, Чернецовская, Южно-Ольховская, Горняцко-Тацинская, Северо-Горняцкая, Сорокинская и некоторые другие, более мелкие, иногда кулисообразно сменяющие названные по простиранию.

На севере территории все складки имеют преимущественный наклон осевых поверхностей к югу, к Должанско-Садкинской синклинали. Создается впечатление, что гребневидная складчатость этой части площади формирует борт крупного синклинория, центр которого совпадает с крупными линейными складками. Последние имеют различную ориентировку наклона осевых поверхностей, что вполне возможно в центральной части подобной структуры.

Зона промежуточной складчатости занимает более трех четвертей территории Восточного Донбасса между Каменским надвигом на севере и Персиановским надвигом - на юге. На востоке описываемой территории промежуточная складчатость слагает почти всю площадь, за исключением небольших по ширине участков южнее Каменского надвига и между Должанско-Садкинской и Краснодонецкой синклиналими. Столь же значительным развитием она, вероятно, пользуется и восточнее, на территории, перекрытой чехлом мезозойско-кайнозойских образований.

На остальной площади обнаженной части Восточного Донбасса между Колпаковской и Замчаловской антиклиналями на юге и Каменским надвигом на севере, западнее и северо-западнее Белокалитвенской, Жирновской синклиналей, а также между Белокалитвенской и Должанско-Сулино-Садкинской, Краснодонецкой и Должанско-Сулино-Садкинской синклиналими развита полная складчатость, отличающаяся от ранее описанной по морфологии слагающих ее структур и взаимоотношениям их друг с другом.

Таким образом, описываемая складчатость характеризуется определенным, хотя слабым и разным для отдельных групп складок, наклоном осевых поверхностей. В нем отразилось движение материала при формировании складчатости, которое не было единым для всей площади, где последняя развита. Осевые линии складок в плане параллельны друг другу и имеют в основном субширотное (запад-северо-западное) простирание с небольшими плавными изгибами. Только одна группа складок (примерно, на долготе г. Краснодона, севернее свода Колпаковской и Замчаловской антиклиналей) довольно резко изменяет свое простирание на восток-северо-восточное и затем на широтное и даже восток-юго-восточное и кулисообразно заканчивается, затухая среди складок, расположенных на продолжении Белокалитвенской синклинали.

Разрывные нарушения играют значительную роль при оценке сложности тектонического строения разведочных участков и шахтных полей в разных структурных зонах

Донбасса. На площадях развития промежуточной и прерывистой складчатости, являющихся с точки зрения обработки моноклиналями, они - основной фактор определения сложности тектонического строения. В зоне же полной складчатости их влияние рассматривается наряду с протяженностью складчатых перегибов.

В Донбассе развиты разрывные нарушения двух основных направлений: продольные и поперечные. Подавляющее большинство продольных смещений характеризуются удвоением разрывных пластов и обычно, несмотря на крутое во многих случаях падение поверхности сместителя, называются надвигами. Продольные сбросы развиты на своде Замчаловской антиклинали (встречаются здесь и продольные взбросы), а также севернее описываемой территории, на Старобельско-Миллеровской моноклинали.

Поперечные разрывы представляют собой сбросы, взбросы и сдвиги. Наибольшим распространением первые пользуются в Должанско-Сулино-Садкинской и Шахтинско-Несветаевской синклиналих, но их появление возможно и в других синклиналих зоны промежуточной складчатости. Сдвиги были установлены по смещению осей складок (Каменская синклиналь и др.) в зоне полной складчатости. Возможно, что многие поперечные разрывы данной зоны относятся к этому типу, но однозначное выделение сдвигов часто затруднено в связи с тем, что они часто разрывают только крылья складок.

Размещение продольных разрывных нарушений в Восточном Донбассе зависит от типа складчатости. В зоне промежуточной складчатости основное количество продольных надвигов прослеживается в призамковых частях гребневидных антиклиналей. Здесь проходят крупные разрывы (Сулино-Константиновский, Екатерининский, Белокалитвенский, Рудаковский и др.), концентрируется большое число более мелких, расположенных параллельно первым. Крупные надвиги прослеживаются по оси гребневидных складок (Сулино-Константиновский, Екатерининский), или смещаются на ее северный борт (Белокалитвенский, Рудаковский). В первом случае они являются согласными, во втором - несогласными разрывами.

Зоны промежуточной складчатости в крупных Должанско-Сулино-Садкинской и Шахтинско-Несветаевской синклиналих характеризуются широким развитием поперечных разрывных нарушений. Одна группа разрывов приурочена к Ровеньковскому поперечному поднятию, другие осложняют структурные выступы на крыльях складок. Они представляют собой нормальные сбросы (гравитационное оседание), генетически связанные в формировании поперечных поднятий.

Приуроченность поперечных разрывных нарушений к поперечному поднятию, их четкая связь позволяют прогнозировать развитие подобных разрывов на других поперечных поднятиях, пересекающих синклинали зоны промежуточной складчатости (Каменском и

Нижне-Кундрючком). Но их амплитуда значительно меньше Ровеньковского, и такого широкого развития поперечные сбросы могут не получить.

Поперечные разрывы (сбросы и взбросы) в пределах изученных площадей обычно встречаются на крыльях крупных складок, в местах изменения прямолинейного простираения слоев на выпуклое, в сторону замка синклинали.

Охарактеризованные закономерности в развитии различных типов складчатости и разрывных нарушений позволяют районировать территорию Восточного Донбасса по степени тектонической сложности, что имеет весьма важное практическое значение.

3.2 Общая характеристика геологического строения районов развития кварц-углеродистых метасоматитов

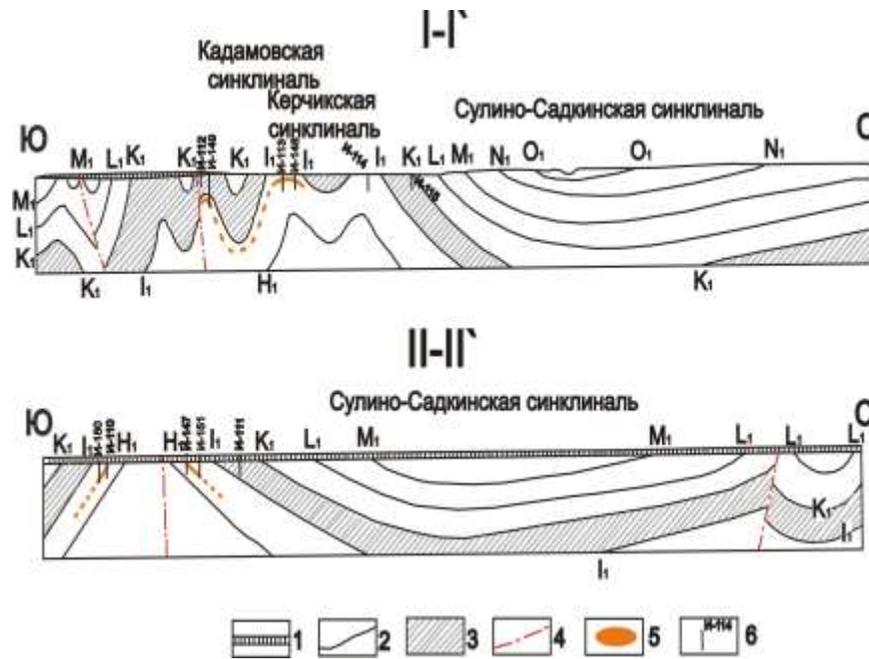
3.2.1 Сулино-Садкинский район

Рассматриваемый район административно расположен на территории Красносулинского, Белокалитвенского, Константиновского районов Ростовской области. Границами его служат на севере - условная линия, проходящая по оси Должанско-Садкинской синклинали, на востоке - условная линия, проходящая по выходу известняка I_1 и по р. Кагальник, на юге - Сулино-Константиновский надвиг, на западе - граница России и Украины. В западной части район пересекается железной дорогой Ростов - Москва.

В геологическом строении Сулино-Садкинского района принимают участие каменноугольные, меловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения. Каменноугольные отложения (свиты $C^3_2 - C^7_2$ среднего и C^1_3 верхнего отделов) представлены глинистыми и алевроитовыми сланцами, псевдофтанитами C^3_2 , песчаниками, известняками и углями; меловые - опоками, трепелом, мергелью, известняками и писчим мелом; палеогеновые - диатомитами, песками, глиной, кварцитами; неогеновые - глинами, известняком-ракушечником, известняком и песками; четвертичные - песками, глиногипсами. Сулино-Садкинский район расположен на южном крыле Должанско-Садкинской синклинали и охватывает частично зону дополнительных мелких складок, развитых в юго-восточной части района, в зоне Главной антиклинали (**Рисунок 3.5**). Должанско-Садкинская синклиналь делится на две котловины - Суглинскую и Садкинскую, связанную с воздыманием оси синклинали около х. Владимировского. В целом в Ростовской области эта часть синклинали называется Сулино-Садкинской.



Рисунок 3.5 - Геологическая карта Сулино-Садкинского угленосного района
(Масштаб 1 : 1 000 000)



Примечание - 1 – контур распространения палеогена; 2 – верхний мел; 3 – свита C_2^1 ; 4 – граничные известняки свит карбона, прослеженные на поверхности карбона; 5 – то же, построенные; 6 – направление падения пород карбона; 7 – разрывные нарушения; 8 – линии разрезов; 9 - буровые скважины с псевдофтанитами; 10 - буровые скважины без псевдофтанитов
Геологические разрезы (Сулино-Садкинский угленосный район).

Масштаб: гор. 1 : 500 000, верт 1 : 250 000

Примечание - 1 — отложения мезо-кайнозоя; 2 — граничные известняки свит карбона; 3 — свита C_2^1 ; 4 — разрывные нарушения; 5 - псевдофтаниты; 6 - буровые скважины
(Угольная база России. Т.1: Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский, Печорский бассейны, Урал). - 483с. - Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 2000 с добавлениями автора)

Основная тектоническая структура района - Садкинская синклиналь - простирается на западе почти в широтном направлении, а затем к востоку меняет свое простирание на юго-восточное и замыкается. По форме она асимметричная, с довольно крутым (50-65°) южным крылом и пологим (2-20°) северным. Сулинская котловина в районе представлена своей небольшой западной частью. Она также является асимметричной, с пологим северным и крутым южным крыльями.

Среди мелких складок выделяются две синклинали - Кадамовская и Керчикская, а также две небольшие антиклинали.

Разрывные нарушения представлены главным образом надвигами и в меньшей степени сбросами. Наиболее крупным нарушением является Сулино-Константиновский надвиг. Падение его северное под углом 80-85°, стратиграфическая амплитуда смещения 250-700м. Наиболее угленосные свиты - C^4_2 , C^5_6 и C^6_2 . Угленосность свит C^3_2 , C^1_3 и C^2_3 изучена разведочными работами недостаточно.

Свита C^3_2 вскрыта не на полную мощность. Рабочей мощности достигает угольный пласт h_{11} , пласты h^1_9 , h^1_{10} имеют рабочую мощность лишь в отдельных точках.

В свите C^4_2 из 16 угольных пластов четыре (i^1_2 , i^H_3 , i^B_3 , i^{2H}_3) имеют рабочую мощность.

Свита C^5_2 содержит 45 угольных пластов, из них 13 достигают рабочей мощности. Это пласты: k_1 , k_2 , k^{1H}_2 , k^{1c}_2 , k^{1H}_4 , k^{2B}_4 , k^H_5 , k^B_5 , k^{1C}_5 , k^{1B}_5 , k^2_5 , k^B_6 , k^{2H}_7 .

В свите C^6_2 насчитывается шесть угольных пластов с рабочей мощностью: 1_2 , 1^{1H}_2 , 1^{1B}_2 , 1^0_6 , 1^H_6 , 1^B_6 .

Свита C^7_2 имеет 30 угольных пластов, из них пять - с рабочей мощностью: m_5 , m^2_5 , m_7 , m_8 , m^1_8 .

Угленосность свиты C^1_3 незначительна. Из 13 угольных пластов - два (n_1 и n^7_0) местами имеют рабочую мощность.

Наиболее перспективные для отработки пласты - i^1_2 , i_3 , k_2 , k^1_2 , k^2_4 , k^{1B}_5 , k^2_5 , k_6 , 1_2 , 1^1_2 , 1^0_6 , 1_6 , m^2_5 , m^1_8 . Среди них относительно выдержанные - i^1_2 , k^H_2 , k^{1H}_2 , k^{1B}_5 , 1^1_2 , m^1_8 .

Угли Сулино-Садкинского района имеют высокую степень метаморфизма и относятся к антрацитам. Угли среднезольные, содержание серы изменяется от 1,0 до 5,0%. К малосернистым углям относятся пласты - k_2 , k^1_3 , k^2_5 (до 2,0%).

Угли Сулино-Садкинского района имеют низкую механическую прочность и при добыче дают много штыба. Значение района возросло в связи с возможностью использования штыбуемых углей на теплоэлектростанциях.

3.2.2 Краснодонецкий район

Границы района условно проводятся на севере по оси Екатерининской антиклинали, на юге по южному своду Северной антиклинали, на западе по балке Калиновой и на востоке по балке Дальняя Россось. Административно он занимает южную часть Белокалитвенского района и небольшие площади Тацинского, Константиновского, Зверевского и Каменского районов. Наиболее крупный населенный пункт - ст. Краснодонецкая.

В геологическом строении района принимают участие свиты $C^4_2 - C^7_2$ среднего отдела и свита C^1_3 верхнего отдела карбона, а также породы палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов. Карбоновые отложения свит $C^4_2 - C^7_2$ среднего отдела и свиты C^1_3 верхнего отдела карбона представлены известняками, песчаниками, каменным углем и антрацитом; палеогеновые – диатомитами, песками, глиной, кварцитами; неогеновые – глинами, известняком-ракушечником, известняком и песками; четвертичные – песками, глиногипсами. В свите C^5_2 встречены псевдокварцолиты.

Промышленная угленосность приурочена к свитам C^4_2 , C^5_2 и C^7_2 . Рабочей мощности достигают угольные пласты i^1_2 , i_3 , i^1_3 , k_1 , K^H_2 , K^B_2 , m^1_8 и m^B_9 .

Основные тектонические элементы района - Краснодонецкая синклиналь и сопредельные с ней Екатерининская и Северная антиклинали. Краснодонецкая синклиналь субширотного простирания с северо-запада на юго-восток (**Рисунок 3.6**). Северное крыло синклинали крутое (углы падения $60-80^\circ$), южное - пологое ($10-20^\circ$). В восточной и западной частях синклиналь осложнена небольшими дополнительными складками. В восточной половине района северное крыло синклинали разрывается Краснодонецким надвигом, имеющим южное падение под углом $70-80^\circ$. Смещение слоев по нормали достигает 70-100 м, поднято южное крыло.

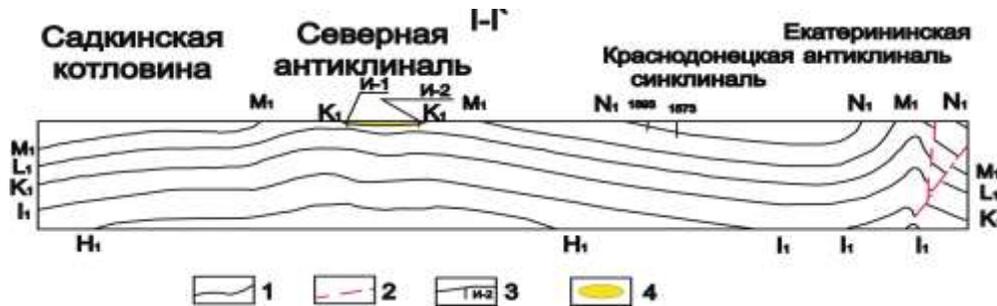
Из выявленных рабочих пластов заслуживают внимание основные пласты - i^1_2 , i_3 , i^1_3 , k_1 , K^H_2 , m^1_8 , второстепенные пласты K^B_2 и m^B_9 рабочую мощность имеют на отдельных площадях. Мощность угольных пластов изменяется от 0,61 до 1,86 м.

По степени метаморфизма угли относятся к маркам Т и А. Содержание золы в углях составляет 8-28%, содержание серы изменяется от 0,6 до 8,6%.

На территории района имеются объекты, потенциально интересные для дальнейшей перспективы. Это Мироновская Восточная, Мироновская, Константиновско-Николаевская площади. Первые две площади приурочены к западной и восточной частям южного крыла Краснодонецкой синклинали, а Константиновско-Николаевская площадь занимает крайнюю восточную часть района.



Примечание - 1 – граничные известняки свит карбона прослеженные (сплошная линия) и построенные (пунктир); 2 – разрывные нарушения; 3 – углы падения пород карбона; 4 – контур распространения палеогена; 5 – буровые скважины без псевдокварцолитов; 6 – буровые скважины с псевдокварцолитами;



Примечание - 1 — граничные известняки свит карбона; 2 — разрывные нарушения; 3 — буровые скважины; 4 — псевдокварцолиты

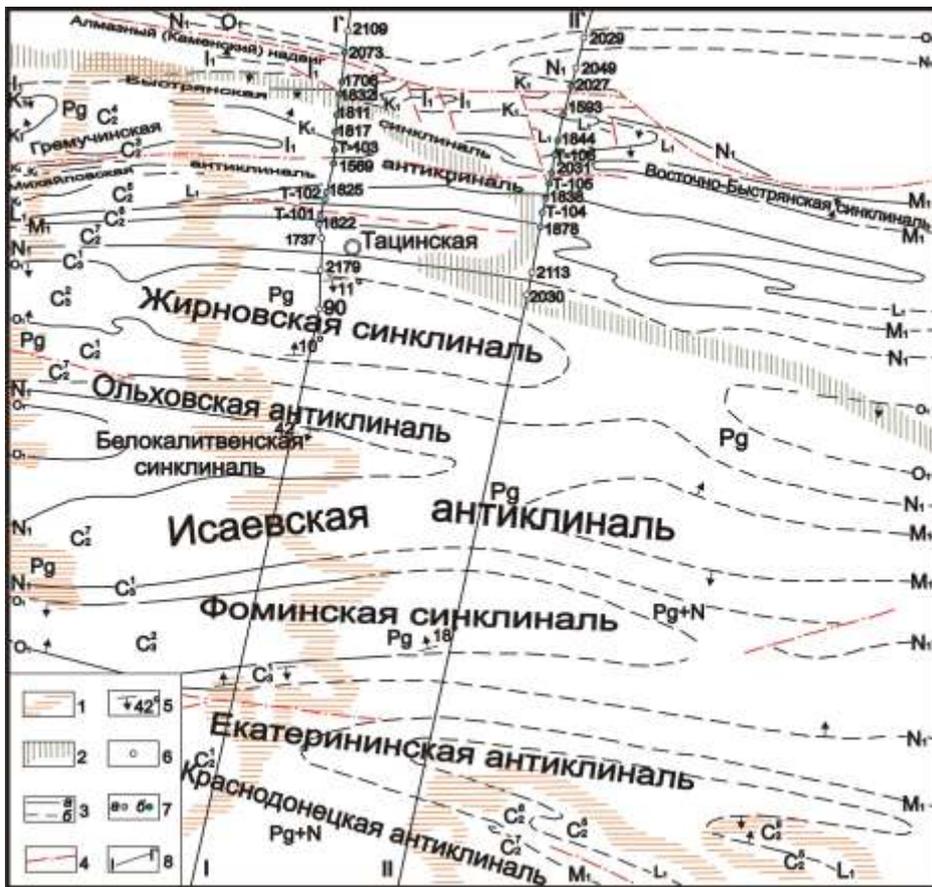
Рисунок 3.6 - Геологическая карта Краснодонского угленосного района (Масштаб 1 : 1 000 000) и геологический разрез по линии I—I` (Масштаб: гор 1 : 500 000; верт 1 : 250 000):

(Угольная база России. Т.1: Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский, Печорский бассейны, Урал). - 483с. - Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 2000 с добавлениями автора)

3.2.3 Тацинский район

Примыкает с востока к Белокалитвенскому району и входит в Тацинский и Морозовский административные районы Ростовской области. В структурном отношении приурочен к зоне мелкой складчатости и восточному продолжению погребенных под мезозойско-кайнозойские отложения зоны обособленных брахисинклиналей.

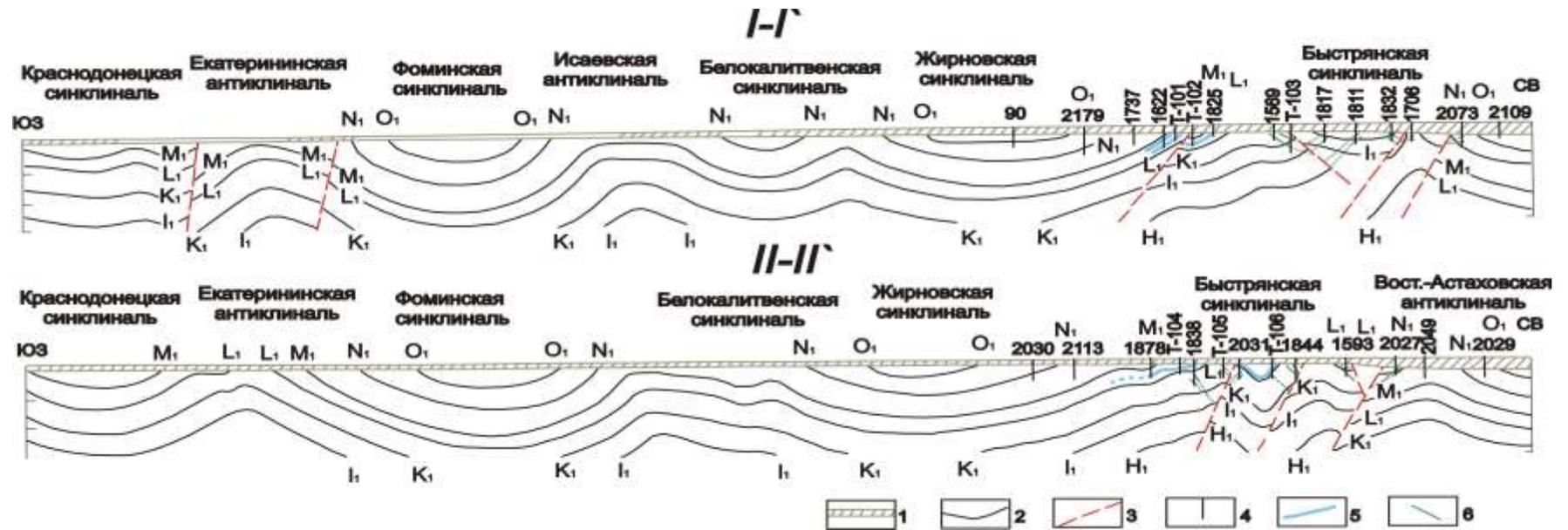
Белокалитвенская синклиналь - самая большая складка в районе. Усложняется Исаевской антиклиналью и распадается на собственно Белокалитвенскую и Фоминскую синклинали. Ольховская антиклиналь в западной части района отделяет Белокалитвенскую синклиналь от расположенной севернее Жирновской синклинали. Между северным крылом Жирновской синклинали и Алмазным надвигом располагается полоса мелких складок (Рисунок 3.7).



Примечание - 1 — контур распространения неогена и палеогена; 2 — контур распространения мела под палеогеном; 3 — граничные известняки свит карбона (а — установленные, б — построенные); 4 — разрывные нарушения; 5 — направление падения пород; 6 — скважины без метасоматитов; 7 — скважины с: а) псевдолидами; б) с кварцевыми гидротермалитами; 8 — линии геологических разрезов

Рисунок 3.7 - Геологическая карта Тацинского угленосного района (Масштаб 1 : 1 000 000) и геологические разрезы по линиям I—I' и II—II' (Масштаб: гор. 1 : 500 000; верт. 1 : 250 000)

Продолжение рисунка 3.7



Примечание - 1 — отложения мезо-кайнозоя; 2 — граничные известняки свит карбона; 3 — разрывные нарушения; 4 — скважины, 5 — псевдолиднты, 6 — кварцевые гидротермалиты

(Угольная база России. Т.1: Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский, Печорский бассейны, Урал). - 483с. - Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 2000 с добавлениями автора)

Разрывные нарушения района по взаимоотношению со структурными элементами делятся на продольные надвиги, осложняющие крылья складок параллельно их осям, и поперечные сбросы.

В геологическом строении района принимают участие отложения каменноугольного, мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов. Каменноугольные отложения выходят на дневную поверхность в западной части района, на остальной площади они покрыты толщей мезозойско-кайнозойских отложений мощностью до 370м.

Каменноугольная толща представлена свитами $C^3_2 - C^7_2$ среднего отдела и $C^1_3 - C^2_3$ верхнего отдела. В разрезе свит преобладают сланцевые породы и песчаники. Известняки и угли занимают подчиненное положение. В $C^6_2 - C^7_2$ были обнаружены псевдолидиды. В верхней части свиты C^3_2 рабочих пластов не обнаружено. В свите C^4_2 , в ее верхней части, имеются два основных угольных пласта (i^1_2 и i_2) и три второстепенных. В свите C^5_2 содержится до семи угольных пластов. Из них лишь пласт k^B_2 представляет промышленный интерес. В свите C^6_2 установлен лишь один рабочий угольный пласт - l_6 . В свитах C^7_2 , C^1_3 , C^2_3 промышленные угольные пласты отсутствуют.

Таким образом, основная промышленная угленосность приурочена к свитам C^4_2 и C^5_2 , а основные промышленные пласты - i_2 , i^1_2 , l_3 , k^H_2 .

Угли относятся к маркам Ж, К, ОС, Т. Зольность угольных пластов колеблется от 5 до 28%. Наиболее зольный (до 40%) пласт i^{1B}_3 . В среднем по району зольность составляет 25%. По сернистости угли свиты C^4_2 среднесернистые (2,0-2,5%), свит C^5_2 и C^6_2 - высокосернистые (3,7 и 4,2%).

Меловые отложения представлены опоками, трепелом, мергелью, известняками и писчим мелом; палеогеновые – диатомитами, песками, глиной, кварцитами; неогеновые – глинами, известняком-ракушечником, известняком и песками; четвертичные – песками, глиногипсами. Также присутствуют кварцевые гидротермалиты.

На территории района до последнего времени действовала одна шахта, которая в настоящее время из-за убыточности закрыта. В Тацинском угленосном районе сосредоточены основные выявленные ресурсы коксующихся углей Восточного Донбасса (Угольная база России. М., Т.1).

3.3 Геологическое строение кварц-углеродистых метасоматитов в зонах флюидизации углепородных массивов

3.3.1 Кварц-углеродистые метасоматиты в углепородных массивах

Многолетними исследованиями сотрудников кафедры месторождений полезных ископаемых ЮФУ (бывш. РГУ) показано, что наиболее метанообильные участки угольных месторождений В. Донбасса приурочены к специфическим типам локальной нарушенности угольных пластов. С ними связаны также так называемые кварц-углеродистые метасоматиты.

В ряде работ (Труфанов В.Н., Лосев Н.Ф., Гамов М.И. и др, 1993; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., 2004; Гамов М.И., 2004; Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Труфанов А.В. и др. 2013) выделены:

1) *Зоны флюидизации в глубинных разломах* северо-западного простирания, связанные с инверсионным этапом развития Донецкого авлакогена. Они имеют характер сбросов с амплитудой перемещения блоков до первых десятков метров с крутым ($70-80^{\circ}$) залеганием сместителей и прослеживаются горными выработками по зонам мелкой складчатости. К ним относятся, например, Северо-Донецкий и Алмазный сбросо-сдвиги. По-видимому, такие тектонические нарушения имеют глубинное заложение и связь с мантией, что обеспечивало подток высокотемпературных восстановленных флюидов.

2) *Зоны флюидизации в приразрывных складках надвига*, приуроченные к резким подворотам слоев у поверхности сместителя, обращенным в сторону перемещенного крыла разрывного нарушения. Механизм образования таких тектонических дислокаций сочетает в себе элементы простого сдвига и комбинированного изгиба контактирующих слоев.

3) *Зоны флюидизации, связанные с флексуобразными нарушениями* угольных пластов и вмещающих пород, широко развитые на крыльях брахиантиклинальных или брахисинклинальных структур при общем моноклиальном залегании угленосной толщи.

4) *Зоны флюидизации в пластовых нарушениях пологого или пологосекущего сдвига*, развивающиеся в результате проскальзывания слоев по системе трещин скалывания при изгибе угленосной толщи. К числу внутрислоевых нарушений послонного сдвига относятся также структуры ложных кровель, разлинзованных слоев аргиллитов, легко обрушающихся в рабочее пространство лав даже при незначительном кратковременном обнажении.

5) *Зоны флюидизации, приуроченные к эпигенетическим песчаникам размыта в непосредственной кровле угольного пласта*. Например, на площади Краснодонецкой

синклинали преобладают песчаники древних палеорусел и подводной части дельты, которые формируют в кровле пласта линзо- и пластообразные тела метасоматитов, вытянутые в диагональном направлении по отношению к оси синклинали (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Гамов М.И., Левченко С.В., Рылов В.Г. и др. 2016).

Общей особенностью всех рассмотренных ситуаций в газоаномальных зонах (очагах), является сочетание разнонаправленных вертикальных и боковых (стрессовых) перемещений угольных пластов и вмещающих пород в участках тектонических нарушений, в результате которых в угольном пласте образуется зона контракции (повышенного сжатия), а в самом очаге флюидизации - зона разупрочнения (дилатации). Как известно, в рудной геологии это называется "структурной ловушкой" (Смирнов В.И. 1969), наиболее благоприятной для проникновения и локализации активных флюидов, отлагающих здесь рудное вещество и формирующих зоны гидротермально-метасоматического преобразования углевмещающих пород.

В некоторых случаях проявляется генетическая связь процессов флюидизации и метасоматоза с проявлениями дайкового магматизма на территории Восточного Донбасса. В районах развития даек палеоандезитов и трондьемитов наблюдаются прямые признаки метасоматического преобразования углевмещающих пород, проявляющиеся в их хлоритизации, окварцевании и карбонатизации, а также в обогащении рудными минералами (магнетит, пирит, халькопирит и др.). По-видимому, процессы гипабиссального магматизма, флюидизации и метасоматоза генетически взаимосвязаны.

При проведении детальных комплексных термобарогеохимических исследований вмещающих пород и углей в шахтах Краснодонского угленосного района В.Донбасса, отобранных на различных расстояниях от очагов флюидизации, выявлены многочисленные признаки переработки, как самих углей, так и песчаников, аргиллитов и алевролитов, интенсивность которых прогрессивно нарастает по мере приближения к флюидоактивным зонам. В этих зонах формируются кварц-углеродистые метасоматиты: псевдолидиты, псевдофтаниты, псевдокварцолиты и кварцевые гидротермалиты (**Рисунок 3.8**), часто потенциально рудоносные вследствие повышенного содержания в них ряда микроэлементов.

Так, например, в центре очагов флюидизации в песчаниках кровли пласта наблюдается замещение глинистого цемента кварцевым или карбонатным, полевых шпатов кварцем и серицитом, а также появление регенерационных каемок вокруг кварцевых зерен. Вторичное окварцевание пород приводит к формированию кварцитов или правильнее псевдокварцолитов, потому что вторичный кварц изобилует газово-жидкими включениями, свидетельствующими о гидротермальной его природе.

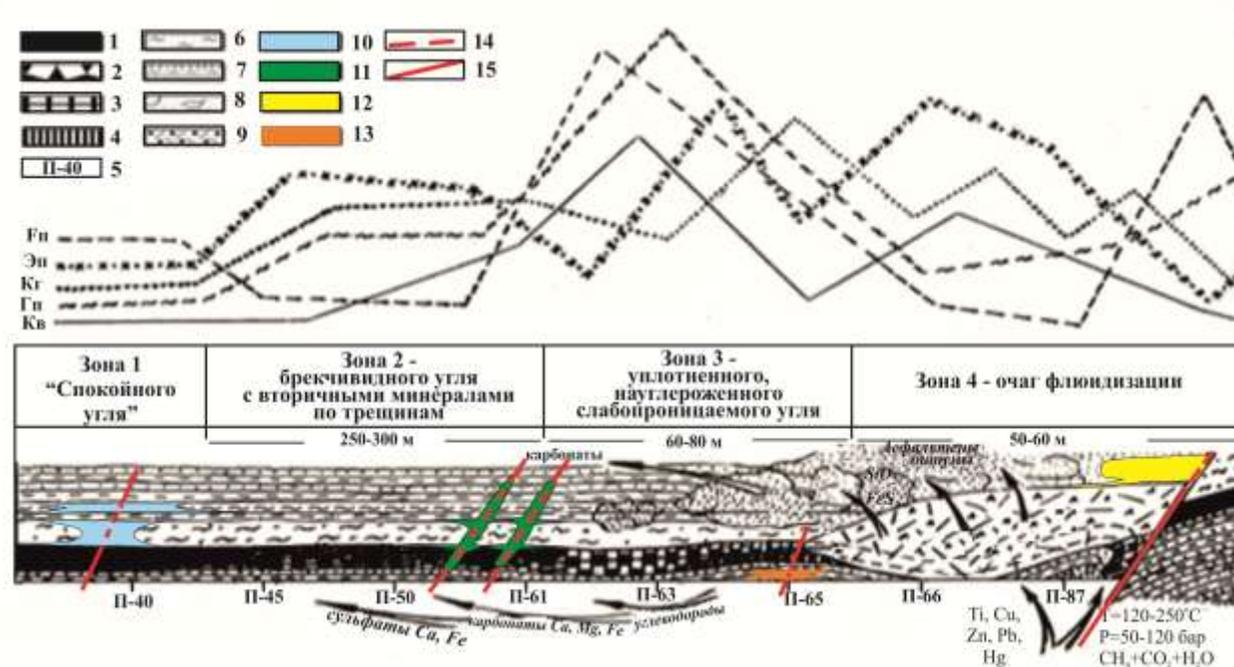


Рисунок 3.8 - Принципиальная схема строения и формирования флюидоактивной зоны в угольном пласте и вмещающих породах (по В.Н. Труфанову, М.И. Гамову, И.В. Рыбину и др.)

Примечание - 1-4 – уголь спокойный; брекчвидный; линзовидно-полосчатый; милонитизированный; 5 – номера пакетов; 6 – аргиллиты; 7 – алевролиты; 8 – песчаники; 9 – расштыбованный уголь в очаге флюидизации; 10 – псевдолит; 11 – кварцевый гидротермалит; 12 – псевдокварцолит; 13 – псевдофтанит; 14 – зоны флюидизации; 15 – тектонические нарушения; Fп – показатель флюидоактивности; Эп – электрополяризационный показатель; Гп – геохимический показатель $\left(\frac{\text{Cu} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ti}}{\text{Be} \cdot \text{Ge} \cdot \text{Mo} \cdot \text{V}} \right)$; Кв – показатель восстановленности флюидов

$$\left(\frac{\sum_{\text{восстановленных газов}}}{\sum_{\text{окисленных газов}}} \right); \text{Кг} - \text{коэффициент газоносности} \left(\frac{\sum_{\text{газов}}}{\text{H}_2\text{O}} \right)$$

В аргиллитах кровли по периферии очагов флюидизации также отмечаются признаки наложенного гидротермального воздействия (осветление, окварцевание породы, появление в ней линзочек, волосовидных прожилков кварц-серицитового состава), с образованием псевдолидитов.

В самих угольных пластах при подходе к очагам флюидизации также отмечаются вполне определенные, хотя и не столь явно выраженные макроскопические, структурно-формационные изменения. Они проявляются в закономерной смене обычного «спокойного» угля тектонически раздробленным, препарированным, перетертым (милонитизированным), участками перекристаллизованным и упрочненным угольным веществом, в возникновении в нем волосовидных «просечек» и прожилков кальцита, кварца, пирита и других вторичных минералов. Уголь нередко приобретает матовый оттенок («седой» уголь, по терминологии шахтеров, прямой признак флюидоактивной зоны).

Различия в свойствах флюидизированных углей установлены рентгеноструктурными, термическими, ИК-спектроскопическими, ЭПР-спектрографическими, электромагнитными и другими методами. При подходе к очагам флюидизации в угольных пластах наряду с отмеченной выше макрозональностью обнаружена своеобразная «скрытая» зональность, проявляющаяся в изменении химического состава, структуры, молекулярной и надмолекулярной организации угольного вещества. Все эти изменения, несомненно, связаны с развитием вторичной гидротермальной минерализации.

В процессе выщелачивания и последующего переотложения органических и неорганических компонентов углей, сопровождающегося закупориванием пор и трещин, во вмещающих породах и угольном пласте образуется «зона бронирования», оконтуривающая очаг флюидизации, выполненный расштыбованным, милонитизированным, пористым и газонасыщенным углем.

При приближении к очагу флюидизации и в непосредственной близости от него (20-30м) на декриптограммах вмещающих пород появляются дополнительные эффекты газовыделения в среднетемпературной области (250-320°C), связанные очевидно с формированием вторичных гидротермальных минералов, описанных выше. Одновременно наблюдается сдвиг основных максимумов декриптации на 30-50°C в область более высоких температур, увеличивается общая флюидоносность проб (в 2-2,5 раза) по сравнению с фоновыми значениями, резко возрастает коэффициент газоносности ($K_r = \frac{\sum_{газов}}{H_2O}$) и восстановленности флюидов. В пробах из периферии очагов флюидизации появляются более тяжелые углеводороды (C₂H₄ и C₂H₆), а также H₂S и SO₂, тогда как содержание H₂O резко падает.

Еще более контрастные различия в результатах вакуумной декриптометрии проб выявляются по показателям флюидоактивности F. F-показатель флюидоактивности – это энергетический показатель, отображающий мощность эффекта газовыделения. Суммарное значение F-показателя в углях варьирует от 361,0 усл.ед. (вдали от зоны флюидизации) до 900-1200 усл.ед. (в очаге флюидизации). Максимальными значениями F-показателей флюидоактивности среди метасоматитов отличаются псевдокварцолиты (в среднем 500 у.е), а минимальными – псевдолидиты (в среднем 270у.е.), что вполне согласуется с концепцией углеводородной флюидизации угленосных отложений, представленной в работах П.Ф. Иванкина и Н.И. Назаровой, (2001); А.Н. Дмитриевского, (2000), В.Н. Труфанова, (2001) и других авторов.

Рассмотренный полевой и экспериментальный фактический материал однозначно показывает, что процессы углеводородной флюидизации ископаемых углей и вмещающих пород, обусловленные широкомасштабным транспортом глубинных флюидов в угленосные бассейны авлакогенного типа, приводят к формированию высокогазоносных метаноугольных месторождений с высокими содержаниями микроэлементов и развитой системой кварц-углеродистых метасоматитов (во псевдофтанитах - Ti, V, Cr, Zn; во псевдокварцолитах - Pb; в кварцевых гидротермалитах- Ti, V, Zr, Zn; во псевдолидитах - Bi, Zn).

Как показали результаты проведенных исследований, при формировании угольных месторождений Восточного Донбасса, в зонах разломов, нарушений и трещиноватости пород, происходило их изменение под воздействием процессов углеводородной флюидизации. В результате таких процессов образовались специфические кварц-углеродистые метасоматиты, локализующиеся в различных типах флюидоактивных зон.

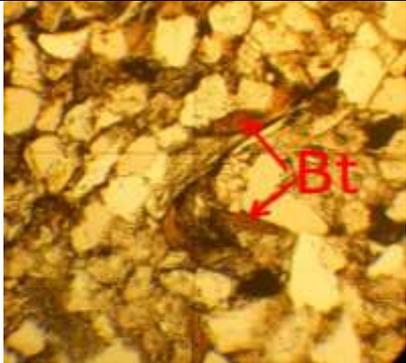
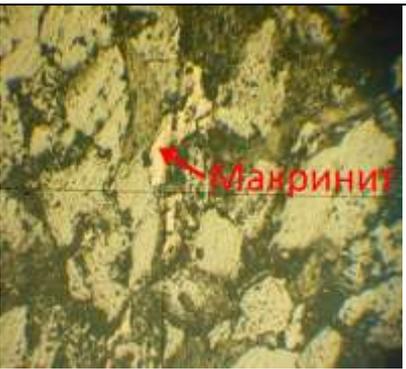
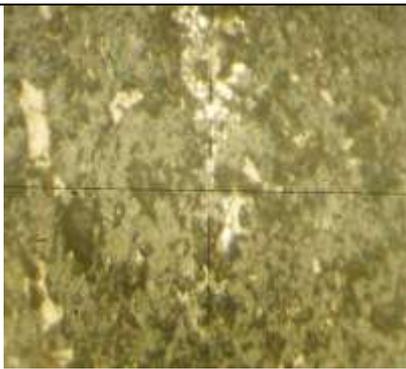
3.3.2 Минералого-петрографическое описание кварц-углеродистых метасоматитов

Образец 116 (псевдофтанит).

Макроскопически образцы представляют собой средне-мелкозернистые окварцованные алевропесчаники с неявно выраженной петельчатой текстурой, обусловленной вкраплениями светлоокрашенной слюды и линзовидными выделениями органического вещества. Излом породы неровный, занозистый.

Под микроскопом порода имеет гипидиоморфнозернистую структуру и состоит из преобладающих корродированных зерен кварца размером 200х300мкм и более редких прослоек и отдельных чешуек бурого и оранжево-красного биотита (**Рисунок 3.9, 3.10**), мощностью 40-50мкм и длиной 200-300мкм. Органическое вещество представлено редкими

линзами макринита размерами около 50мкм (**Рисунок 3.11**), чаще всего в ассоциации с рудной минерализацией (**Рисунок 3.12**). Рудные минералы представлены пиритом, который встречается в виде фрамбоидов диаметром 10-15мкм, а также узких полос толщиной 10мкм и протяженностью до 100мкм (**Рисунок 3.13, 3.14**).

	
<p>Рисунок 3.9 – Чешуйки биотита (николи +; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.10 – Прослой биотита (аншлиф; d = 1мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.11 – Линза макринита (аншлиф; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.12 - Рудная минерализация в ассоциации с ОВ (аншлиф; d = 0,2мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.13 – Фрамбоиды пирита (аншлиф; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.14 – Узкая полоска пирита (аншлиф; d = 1мм)</p>

В породе отчетливо видны признаки гидротермального метасоматоза, выраженные замещением биотита микрозернистым агрегатом гидрослюд и появлением реакционных каемок вокруг корродированных зерен кварца (Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

В соответствии с систематикой и классификациями осадочных пород и их аналогов, фтанит (от греч. ftano) — массивная толстоплитчатая порода кварц-халцедонового состава, разного цвета, с преобладанием серых тонов, иногда содержащая остатки скелетов радиолярий и спикул кремниевых губок. Р. Ж. Гаюи (1922г.) указывал на черный цвет фтанитов, обусловленный обязательной примесью тонкорассеянного углистого вещества или графита (Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов. 1998).

В связи с составом, текстурой и структурой порода может быть отнесена ко фтанитам частично, поэтому следует её называть псевдофтанит (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

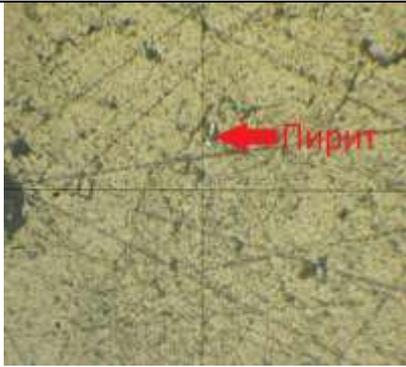
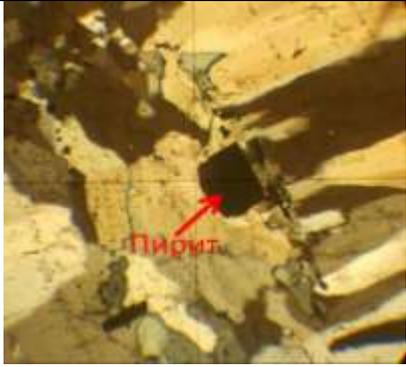
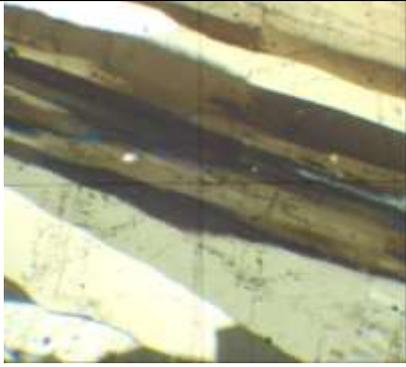
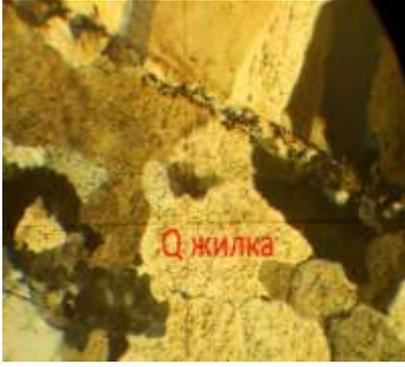
Образец 12д (псевдокварцолит)

Макроскопически образцы представлены кварцитовидной породой с микрослоистой текстурой, сложенной сливным кварцем с прослоями органического вещества. Излом породы неровный, раковистый, цвет белый и светло-серый.

Под микроскопом порода четко слоистая, содержит кварц и тонкие прослои мощностью 50-100мкм органического вещества, представленного инертинитом, которые подчеркивают собой слоистость (**Рисунок 3.15**). Органика здесь перемешана с глинистым веществом — микстинит.

Рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, халькопиритом и двумя генерациями пирита, который встречается в виде одиночных фрамбоидов диаметром около 50мкм (**Рисунок 3.16**) и кубических кристаллов шириной около 100мкм (**Рисунок 3.17**). Порода существенно кварцевая, состоит из крупных кварцевых зерен, имеющих волнистое погасание, вытянутых в одном направлении. Зерна перекристаллизованы, толщина зерен 50-100мкм (**Рисунок 3.18**). Цемент — пористый. В данной породе встречена кварцевая жилка мощностью 400мкм, секущая общее направление уплощенных кварцевых зерен. Контакт жилки с породой четкий, ровный. В самой жилке кварц разбит трещинками на мелкие блоки; их грани здесь заметно корродированы (**Рисунок 3.19**) (Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

В соответствии с Петрографическим кодексом России, статья III. 1.6, изученные в данной работе высококремнеземистые породы — кварцолиты — могут быть отнесены к магматическим породам лишь условно, поскольку большая часть кварцолитов кристаллизовалась, по-видимому, из отделившегося от силикатной магмы расплава-раствора, в

	
<p>Рисунок 3.15 – Инертинитовые прослой в псевдокварцолите (аншлиф , d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.16 - Фрамбоид пирита (аншлиф; d = 1мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.17 – Кубический пирит (николи +; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.18– Микрizonaльная кварц-углеродистая структура псевдокварцолита (николи +; d = 1мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.19 – Кварцевая жилка в кварцевой породе (николи +; d = 1мм)</p>	

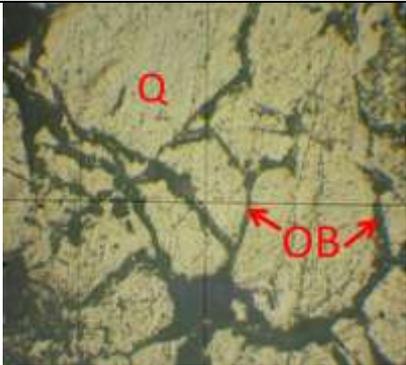
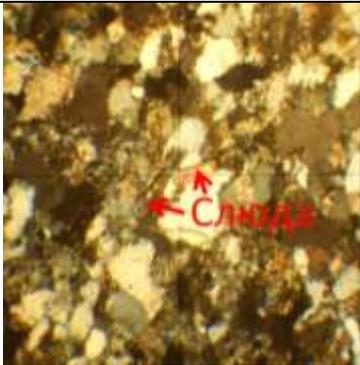
том числе остаточного на стадии, переходной к гидротермальной (Петрографический кодекс России. Спб: ВСЕГЕИ. 2009).

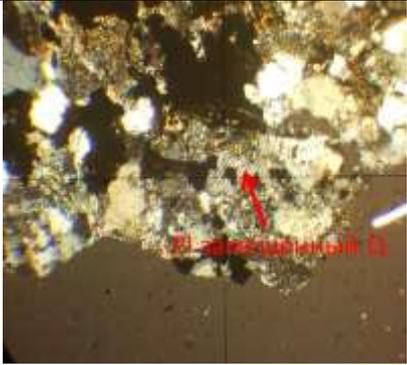
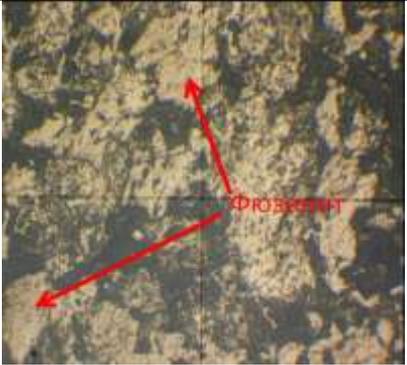
В связи с составом, текстурой и структурой порода может быть отнесена к кварцолитам частично, поэтому следует её называть псевдокварцолит (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

Образец 10 (кварцевый гидротермалит).

Макроскопически образцы представлены типичным жильным кварцем с равномерно-зернистой текстурой (**Рисунок 3.20**), разбитым разноориентированными трещинами на зерна размером 50-200мкм. Под микроскопом помимо преобладающего кварца, в породе встречены отдельные чешуйки слюды высотой около 100мкм (**Рисунок 3.21**). Полевые шпаты представлены единичными неправильными зернами плагиоклаза размером до 100мкм (**Рисунок 3.22**), которые часто соседствуют с измененным и перекристаллизованным минеральным веществом. Органическое вещество представлено мацералом группы инертинита — фюзинитом с клеточной структурой хорошей сохранности (**Рисунок 3.23**).

В породе отмечаются признаки гидротермального метасоматоза, выраженные замещением полевых шпатов гидрослюдами, образованием вторичного кварца и появлением рудных минералов, представленных пиритом (**Рисунок 3.24**), халькопиритом, галенитом и сфалеритом (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

	
<p>Рисунок 3.20 – Кварцевые зерна, отороченные органическим веществом (аншлиф; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.21 – Чешуйки слюды (николи +; d = 1мм)</p>

	
<p>Рисунок 3.22 – Зерно плагиоклаза, замещенное кварцем (николи +; d = 1мм)</p>	<p>Рисунок 3.23 – Фюзинит в породе (аншлиф; d = 1мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.24 – Кристаллы пирита (николи; d = 1мм)</p>	

Образец 12в (псевдолидит).

Макроскопически представлен плотной, массивной породой черного цвета, сложенной микрозернами кварца и органическим веществом с неясно выраженной текстурой. Отдельными пятнами в породе встречаются более крупные выделения халцедоновидного кварца, окремненные спикеры губок, единичные вкрапления рудного вещества – пирита. Излом раковистый. Под микроскопом порода состоит из мелких эвгдральных и уплощенных зерен кварца и халцедона с размерами от 5-6 до 8х20мкм, погруженных в органический субстрат (**Рисунок 3.25**). Встречены единичные зерна и двойники ставролита (**Рисунок 3.26**) Структура породы криптокристаллическая, участками бластокластическая, обусловленная, по-видимому, метасоматическим замещением первичного алевропелитового материала кремнезем-органическим субстратом.

Органическое вещество имеет здесь как растительное, так и животное происхождение. Растительное ОВ представлено измельченными и раздробленными мацералами группы инертинита — семифузинитом с клеточной структурой плохой сохранности (**Рисунок 3.27**), макринитом и фузинитом с клеточной структурой плохой сохранности. Клеточные полости

зачастую пустые, иногда заполнены глинистым веществом. Животное ОВ представлено спикулами кремневых губок, выполненными кварцем (**Рисунок 3.28**). Рудные минералы представлены пиритом, который встречается в виде мельчайших фрамбоидов диаметром 2-6 мкм. Местами рудная минерализация встречается вместе с органическим веществом (**Рисунок 3.29**), образуя полосы шириной до 40 мкм. (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

В соответствии с систематикой и классификациями осадочных пород и их аналогов, лидит (по древнеримской провинции Лидии в Малой Азии), или пробирный камень — это плотная порода кварц-халцедонового состава, с обильным тонкораспыленным органическим веществом, с примесью глинистого вещества темно-серого или черного, до смоляного, цвета. Может содержать остатки скелетов радиолярий и спикулы кремневых губок (Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов. 1998).

Судя по описанию, составу и структуре, образец может быть отнесен к лидитам частично, поэтому стоит его называть псевдолидит (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

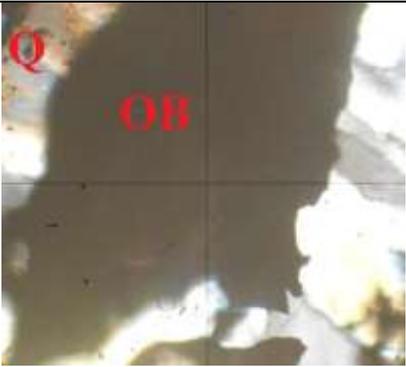
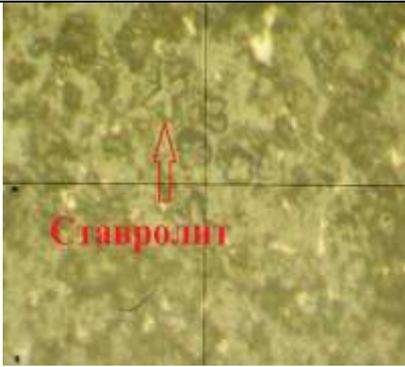
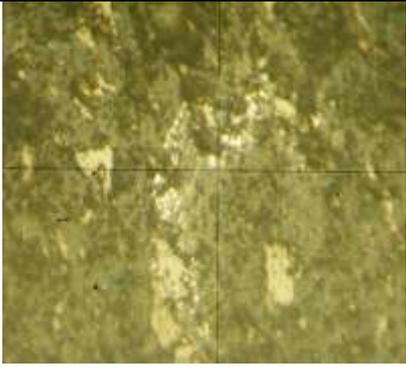
ВЫВОДЫ:

1) Исследованы геолого-структурные, минералого-петрографические, фациальные и геохимические особенности формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, представленных псевдолидитами, псевдофтанитами, псевдокварцолитами и кварцевыми гидротермалитами.

2) На основе детального анализа геологического строения Сулино-Садкинского, Краснодонского и Тацинского районов показано, что эти специфические природные объекты приурочены к зонам углеводородной флюидизации угольных пластов и вмещающих пород, контролируемых глубинными разломами северо-западного простирания и субмеридиональными тектоническими нарушениями.

3) В минералого-петрографическом отношении кварц-углеродистые метасоматиты являются продуктами эпигенетического преобразования первично осадочных пород — аргиллитов, алевролитов, полимиктовых песчаников, трансформированных процессами гидротермального литогенеза.

4) Изученные метасоматиты характеризуются аномально высокими содержаниями промышленно важных макро+микроэлементов и поэтому представляют большой интерес как нетрадиционный источник цветных, редких и благородных металлов.

	
<p>Рисунок 3.25 – Органическое вещество, инкрустированное халцедоновидным кварцем (николи +; d = 0,2мм)</p>	<p>Рисунок 3.26 – Криптозернистая структура псевдолидита, сложенная кварц-органическим субстратом. Присутствует ставролит (аншлиф; d = 0,2мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.27 – Семифюзинит. (аншлиф; d = 0,2мм)</p>	<p>Рисунок 3.28 – Спикулы кремневых губок, сложенные кварцем (николи; шлиф; d = 1мм)</p>
	
<p>Рисунок 3.29 – Рудная минерализация в ассоциации с ОВ (аншлиф; d = 0,2мм)</p>	

5) В литолого-фациальном плане кварц-углеродистые метасоматиты образуют единый генетический ряд, крайними членами которого являются псевдолидиты и псевдокварцолиты, а промежуточными – псевдофтаниты и кварцевые гидротермалиты (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014).

4. ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ

4.1 Морфогенетические типы включений кварц-углеродистых метасоматитов

По техническим условиям (прозрачность) морфогенетические типы флюидных включений исследовались оптико-микроскопическими методами в образцах кварцевых гидротермалитов, псевдокварцолитов и псевдофтанитов при увеличениях 400*, 600*, что объясняется весьма малыми ультрамикроскопическими размерами. Тем не менее, удалось выделить несколько типов этих включений, описание которых приводится ниже.

Обр. №10. Кварцевый гидротермалит (**Рисунок 4.1**).

В центре снимка находится расшнурованное многофазовое включение удлиненной формы с размерами 175×25мкм, в котором отчетливо видна газовая фаза и прозрачные минералы-узники. По-видимому, это первичное включение, так как оно располагается вне видимой связи с трещинами. Несомненно, это включение образовалось в результате консервации высокоминерализованного флюида («рапы»).

Аналогичные более мелкие включения (2-3мкм) располагаются беспорядочно в основной массе образца кварца.

Обр. №10. Кварцевый гидротермалит (**Рисунок 4.2**).

В данном образце кварцевого гидротермалита обнаружено множество первичных и вторичных флюидных включений с размерами до 20-25мкм, располагающихся хаотично или по залеченным трещинам.

Первичные включения, как и в предыдущем случае, представлены многофазовыми вакуолями, содержащими газ, жидкость и до 50-60% твердой фазы. Вторичные включения – существенно-газовые, полупрозрачные и газовой-жидкие. Такие включения неправильной субизометричной формы отчетливо видны в центре снимка.

Обр. №10. Кварцевый гидротермалит (**Рисунок 4.3**).

В данном образце установлена система первично-вторичных и вторичных флюидных включений, представленных существенно-газовыми, газовой-жидкими и полупрозрачными субизометричными вакуолями с размерами 10-15мкм. Включения расположены в межзерновых интерстициях и по залеченным трещинам. По периферии зерна локализуются более крупные полупрозрачные включения лейстовидной формы.

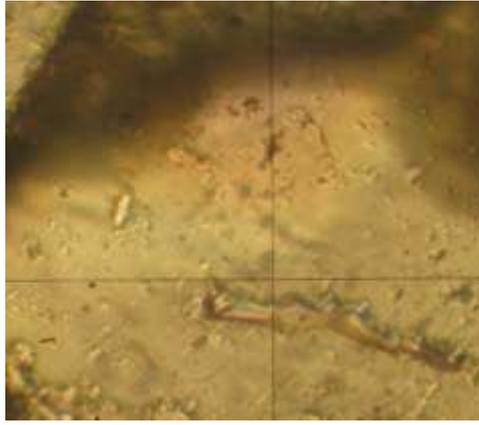


Рисунок 4.1 - Первичное многофазовое расшнурованное включение в кварцевом гидротермалите. По периферии многочисленные полифазные включения. Ув. 400*.



Рисунок 4.2 - Первичные многофазовые, первично-вторичные существенно-газовые и вторичные газовой-жидкие и полупрозрачные включения в кварцевом гидротермалите. Ув. 400*.

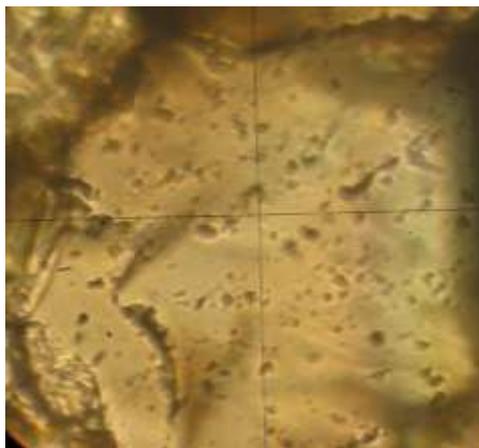


Рисунок 4.3 - Система первично-вторичных существенно-газовых и вторичных газовой-жидких и полупрозрачных включений в кварцевом гидротермалите. Ув. 400*.

Обр. №10. Кварцевый гидротермалит (**Рисунок 4.4**).

В образце обнаружено крупное (0,2×0,4×0,5мм.) трехлучевое включение, заполненное органическим материалом с четкими прямолинейными контурами. По-видимому, в составе включения содержатся высокоуглеродистые соединения, а также, по краям включения водной фазы с минералами-узниками.

В остальной части снимка видны многочисленные мелкие (10-15мкм) газовой-жидкие и полупрозрачные включения.

Большинство первичных и первично-вторичных включений имеют форму негативных кристаллов, размеры их не превышают 5-10мкм, что практически исключает возможность их исследований методом гомогенизации.

Обр. №12д. Псевдокварцолит (**Рисунок 4.5**).

В центре снимка первичное кристаллогазовое включение с четко видимыми кубическими и ромбоидальными кристаллами минералов-узников. Включение имеет правильную негативную форму с размерами 50×10мкм.

В непосредственной близости к нему располагается одиночное непрозрачное включение органического вещества негативной формы с размерами 25×40мкм.

В остальной части снимка наблюдаются более мелкие (3-5мкм) первичные кристаллогазовые и вторичные по залеченным трещинам существенно-газовые, газовой-жидкие и полупрозрачные включения.

Обр. №12д. Псевдокварцолит (**Рисунок 4.6**).

На снимке изображено одиночное первичное кристаллогазовое включение прямоугольной формы с размерами 50×30мкм, в котором различимы два газовых пузырька (10-15%) и криптокристаллический агрегат различных минералов-узников. В остальной части снимка наблюдаются более мелкие аналогичные кристаллогазовые и существенно-газовые включения.

Обр. №12д. Псевдокварцолит (**Рисунок 4.7**).

На снимке наблюдается система существенно-газовых, газовой-жидких и полупрозрачных включений, локализующихся в зонах «усадки» и вторичных трещинах. Существенно-газовые включения, имеющие размеры до 8-10мкм, отличаются более правильной субизометричной формой и являются, по-видимому, первично-вторичными. Газовой-жидкие включения удлиненной формы имеют меньшие размеры (3-5мкм) и являются вторичными, так как приурочены к ориентированным трещинам.



Рисунок 4.4 - Трёхлучевое высокоуглеродистое включение и многочисленные газожидкие и полупрозрачные включения в кварцевом гидротермалите. Ув. 400*.



Рисунок 4.5 - Первичное кристаллогазовое и вторичные существенно-газовые, газожидкие и полупрозрачные включения в псевдокварцолите. Ув. 400*.



Рисунок 4.6 - Первичное кристаллогазовое включение в псевдокварцолите. Ув 400*.



Рисунок 4.7 - Первично-вторичные существенно-газовые и вторичные газовой-жидкие и полупрозрачные включения в псевдокварцолите. Ув. 400*.

Обр. №12д. Псевдокварцолит (**Рисунок 4.8**)

В изученном образце фиксируется серия вторичных расшнурованных включений удлиненной формы с размерами до 70-90 и 5-6мкм, локализующихся в параллельно-ориентированных зонах или трещинах. Включения представлены газовой-жидкими и полупрозрачными вакуолями и являются, очевидно, вторичными. В промежутках между зонами трещиноватости присутствуют одиночные первичные кристаллогазовые включения. Гомогенизация исследованных включений происходит при температуре 350-520⁰С (Рыбин И.В. 2016).

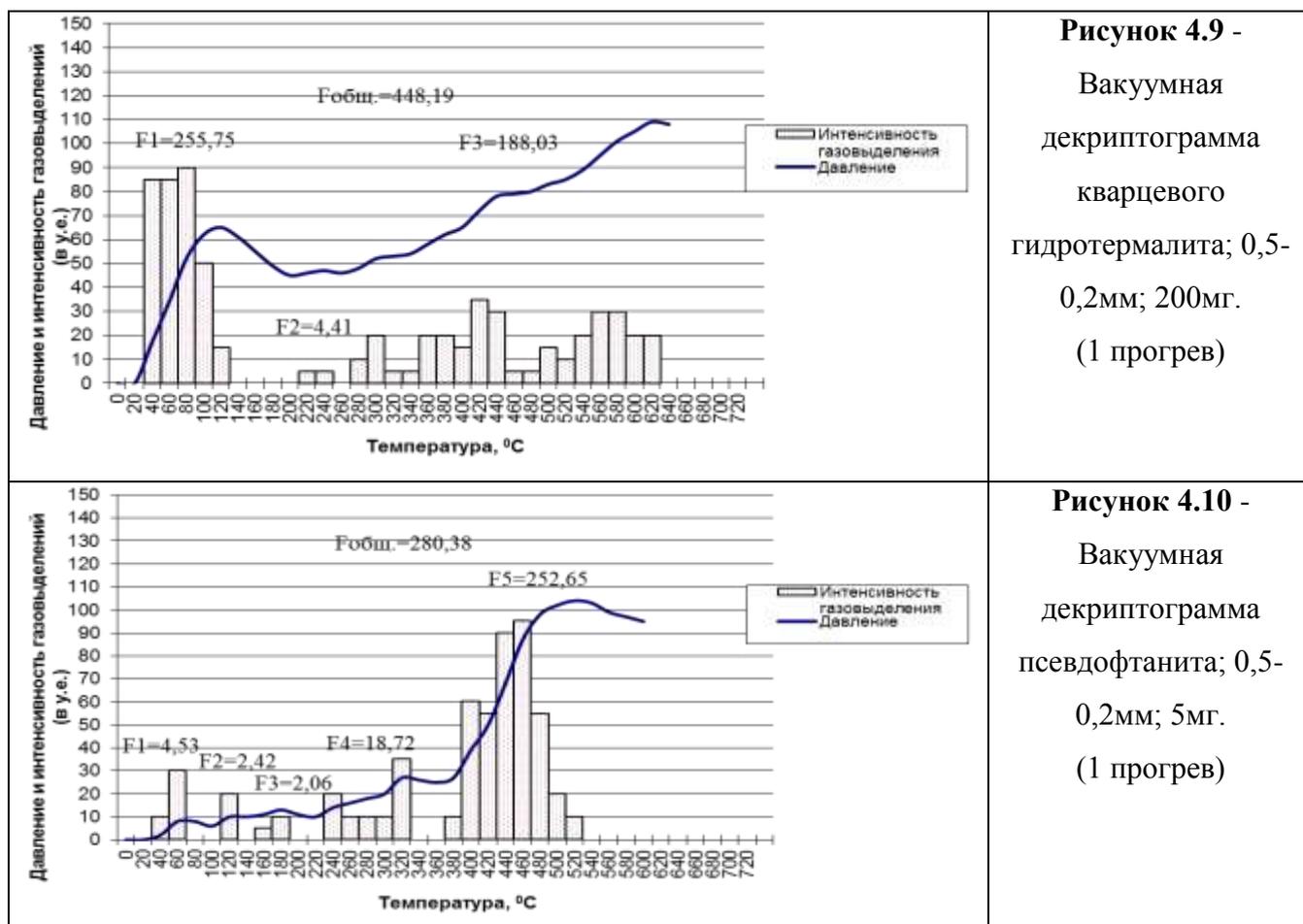


Рисунок 4.8 - Система вторичных расшнурованных газовой-жидких и полупрозрачных включений в псевдокварцолите. Ув. 600*

4.2 Термобарогеохимические условия формирования и структурные особенности кварц-углеродистых метасоматитов

Согласно разработанной методики термобарогеохимических (ТБХ) исследований, все кварц-углеродистые метасоматиты подвергались трехкратному вакуумно-декриптометрическому (ВД) анализу без разгерметизации реакционной камеры вакуумного декриптографа для изучения их фазовой структурной трансформации и моделирования подземных полихронных процессов рудообразования.

В ходе выполнения ТБХ-исследований были установлено, что метасоматиты образовались при разных температурах и давлениях (**Рисунок 4.9-4.14, Таблица 4.1**). Из широкого перечня проб были выделены представительные образцы, характеризующие каждую группу кварц-углеродистых метасоматитов, а именно, кварцевые гидротермалиты, псевдофтаниты, псевдолидиты и псевдокварцолиты с последующим проведением газовой хроматографического анализа (**Таблица 4.2**).



<p>Давление и интенсивность газовыделений (в у.е.)</p> <p>Температура, °C</p> <p>Интенси́вность газове́деления Давление</p> <p>$F_{общ.} > 271,00$</p> <p>$F1 = 229,01$</p> <p>$F2 = 0,49$</p> <p>$F3 = 0,90$</p> <p>$F4 > 40,61$</p>	<p>Рисунок 4.11 - Вакуумная декриптограмма псевдолидита; 0,5-0,2мм; 5мг; (1 прогрев)</p>
<p>Давление и интенсивность газовыделений (в у.е.)</p> <p>Температура, °C</p> <p>Интенси́вность газове́деления Давление</p> <p>$F_{общ.} = 495,40$</p> <p>$F1 = 229,83$</p> <p>$F2 = 265,57$</p>	<p>Рисунок 4.12 - Вакуумная декриптограмма псевдокварцолита; 0,5-0,2мм; 100мг; (1 прогрев)</p>
<p>Давление и интенсивность газовыделений (в у.е.)</p> <p>Температура, °C</p> <p>Интенси́вность газове́деления Давление</p> <p>$F_{общ.} > 13,25$</p> <p>$F1 = 1,20$</p> <p>$F2 = 1,61$</p> <p>$F3 = 0,23$</p> <p>$F4 = 0,53$</p> <p>$F5 = 0,73$</p> <p>$F6 = 0,12$</p> <p>$F7 = 1,23$</p> <p>$F8 = 0,27$</p> <p>$F9 = 1,35$</p> <p>$F10 > 6,48$</p>	<p>Рисунок 4.13 - Вакуумная декриптограмма псевдокварцолита; 0,5-0,2мм; 100мг; (2 прогрев не вскрывая капсулу)</p>
<p>Давление и интенсивность газовыделений (в у.е.)</p> <p>Температура, °C</p> <p>Интенси́вность газове́деления Давление</p> <p>$F_{общ.} = 18,85$</p> <p>$F1 = 8,57$</p> <p>$F2 = 0,63$</p> <p>$F3 = 2,44$</p> <p>$F4 = 0,23$</p> <p>$F5 = 1,66$</p> <p>$F6 = 5,32$</p>	<p>Рисунок 4.14 - Вакуумная декриптограмма псевдокварцолита; 0,5-0,2мм; 100мг; (3 прогрев не вскрывая капсулу)</p>

Таблица 4.1 - Результаты температур декриптации и F-показателей кварц-углеродистых метасоматитов В.Донбасса

Группа	№ обр	Навеска (мг)	Прогревы												
			1 прогрев				2 прогрев не вскрывая капсулу				3 прогрев не вскрывая капсулу				
			Температурный диапазон (°C)	F (y.e.)		Температурный диапазон (°C)	F (y.e.)		Температурный диапазон (°C)	F (y.e.)					
				F п/п	F общ.		F п/п	F общ.		F п/п	F общ.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Псевдоидиты	12в	5	40-120	F1	229,01	>	40-100	F1	3,28	5,93	40-100	F1	1,07	2,19	
			320-340	F2	0,49		271,00	220-240	F2		0,39	180-200	F2		0,11
			460-480	F3	0,90		260-300	F3	0,92		220-240	F3	0,10		
			500-680	F4	>40,61		360-400	F4	0,59		260-300	F4	0,34		
							440-460	F5	0,27		320-340	F5	0,16		
							540-580	F6	0,47		380-400	F6	0,15		
							440-460	F7	0,14						
			540-560	F8	0,12										
12e	5	40-100	F1	96,78	> 125,7	40-100	F1	2,41	5,11	40-60	F1	1,2	7,62		

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			120-140	F2	10,17		120-140	F2	0,18		100-120	F2	1,27	
			440-480	F3	1,83		160-180	F3	0,17		140-160	F3	0,17	
			500-660	F4	>16,88		200-240	F4	1,17		200-220	F4	1,01	
							300-320	F5	0,25		260-300	F5	1,83	
							420-440	F6	0,42		360-400	F6	1,3	
							480-500	F7	0,06		460-520	F7	0,47	
							540-580	F8	0,44		540-580	F8	0,35	
	12ë	5	40-140	F1	34,87	> 48,19	40-80	F1	3,47	8,56	40-80	F1	0,64	2,48
			280-320	F2	2,32		120-140	F2	2,72		120-140	F2	0,91	
			380-400	F3	0,45		180-200	F3	0,42		180-200	F3	0,21	
			460-480	F4	0,33		220-240	F4	0,43		220-240	F4	0,24	
			500-540	F5	0,98		340-380	F5	0,91		340-360	F5	0,16	
			600-660	F6	>9,24		500-520	F6	0,38		420-440	F6	0,11	
							540-560	F7	0,21		500-520	F7	0,09	
											540-560	F8	0,12	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Псевдок варцоли ты	1	20	40-140	F1	189,83	731,07	40-80	F1	7,08	>160,39	40-80	F1	7,08	>13,57
			240-520	F2	541,24		120-140	F2	1,09		120-140	F2	1,09	
							160-200	F3	2,33		160-200	F3	2,33	
							240-260	F4	0,42		240-260	F4	0,42	
							300-320	F5	0,68		300-320	F5	0,68	
							380-400	F6	0,30		380-400	F6	0,30	
							420-440	F7	0,32		420-440	F7	0,32	
							480-660	F8	> 148,18		480-500	F8	0,32	
							520-540	F9	0,34					
							620-660	F10	>0,70					
	4	20	40-80	F1	77,13	>621,8	40-80	F1	10,20	>41,82	40-80	F1	15,94	>29,21
			180-420	F2	492,42		160-180	F2	0,55		200-220	F2	0,56	
			520-660	F3	>52,25		200-220	F3	0,91		260-280	F3	1,36	
							240-280	F4	1,00		300-360	F4	2,57	
					300-320		F5	0,51	420-440		F5	0,39		

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							380-400	F6	0,89		460-480	F6	0,40	
							500-660	F7	>27,76		520-660	F7	>8,01	
	7	200	40-140	F1	358,90	>737,8	40-140	F1	10,23	16,08	40-100	F1	26,81	>54,13
			180-420	F2	363,64		340-380	F2	0,69		120-140	F2	4,00	
			580-600	F3	4,01		440-480	F3	0,60		180-200	F3	2,01	
			620-680	F4	>11,25		500-520	F4	0,22		220-240	F4	2,78	
							540-560	F5	0,24		340-360	F5	3,16	
							580-660	F6	4,10		400-420	F6	0,72	
											460-500	F7	1,23	
							560-680	F8	>13,43					
	8	200	40-120	F1	855,98	1093,1	40-120	F1	65,14	>88,06	40-120	F1	6,36	10,86
			220-420	F2	232,68		300-320	F2	0,76		260-280	F2	0,27	
			560-580	F3	4,40		340-360	F3	0,75		300-340	F3	0,65	
							380-400	F4	0,74		420-440	F4	0,70	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							480-500	F5	0,97		520-640	F5	2,88	
							520-660	F6	>19,70					
	9	5	40-60	F1	2,70	457,52	40-60	F1	0,68	>6,79	40-60	F1	0,30	>7,94
				F2	0,67		80-100	F2	0,20		80-100	F2	0,13	
				F3	1,33		140-160	F3	0,12		180-200	F3	0,11	
				F4	424,01		180-200	F4	0,16		240-260	F4	0,09	
				F5	28,81		240-260	F5	0,28		280-300	F5	0,13	
							280-300	F6	0,18		340-380	F6	0,46	
							340-380	F7	0,77		400-420	F7	0,18	
							400-420	F8	0,22		440-480	F8	0,47	
							440-480	F9	0,53		540-560	F9	0,21	
							540-560	F10	0,24		580-600	F10	0,23	
			580-660	F11	>3,43	620-660	F11	>5,63						
	12г	100	40-120	F1	199,49	>363,05	40-60	F1	2,70	6,37	40-80	F1	5,74	9,60
				F2	7,41		120-140	F2	0,73		140-180	F2	0,99	
				F3	135,30		160-180	F3	0,66		220-240	F3	0,44	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			560-580	F4	2,37		280-300	F4	0,65		340-380	F4	0,54	
			600-680	F5	>18,47		360-400	F5	0,37		400-420	F5	0,97	
							420-440	F6	0,74		460-480	F6	0,6	
							580-600	F7	0,52		500-520	F7	0,32	
	12д	100	40-260	F1	229,83	495,40	40-60	F1	1,20	>13,25	40-80	F1	8,57	18,85
			360-520	F2	265,57		80-100	F2	1,61		180-200	F2	0,63	
							140-160	F3	0,23		240-280	F3	2,44	
							180-200	F4	0,53		360-380	F4	0,23	
							260-280	F5	0,23		420-480	F5	1,66	
							320-340	F6	0,12		500-620	F6	5,32	
							380-440	F7	1,23					
							460-480	F8	0,27					
							500-540	F9	1,35					
							560-660	F10	>6,48					
	12и	50	40-120	F1	285,56	>516,27	40-60	F1	0,3	>86,34	40-60	F1	6,08	>12,24
			380-660	F2	>230,71		80-100	F2	1,01		260-280	F2	0,68	
							140-200	F3	1,59		320-340	F3	0,2	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							220-260	F4	1,13		420-440	F4	0,07	
							280-320	F5	1,39		460-480	F5	0,1	
							360-380	F6	0,38		500-520	F6	0,1	
							400-460	F7	1,77		540-560	F7	0,3	
							500-660	F8	>78,78		580-660	F8	>4,72	
	12к	50	40-120	F1	33,65	>126,82	40-60	F1	1,88	>16,06	40-60	F1	4,8	7,64
			460-660	F2	>93,17		80-100	F2	1,41		100-120	F2	1,27	
							140-180	F3	1,77		140-160	F3	0,17	
							220-280	F4	0,9		240-260	F4	0,56	
							380-400	F5	0,15		300-320	F5	0,08	
							440-480	F6	0,27		360-420	F6	0,43	
							500-520	F7	0,13		480-500	F7	0,06	
							560-660	F8	>9,57		520-560	F8	0,24	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кварцевые гидро термалиты	2	200	40-160	F1	145,46	435,06	40-100	F1	9,65	39,24	40-60	F1	1,20	8,53
			180-300	F2	65,05		220-240	F2	0,24		80-100	F2	0,27	
			320-560	F3	224,55		260-280	F3	0,23		140-160	F3	0,17	
							300-320	F4	0,59		280-300	F4	0,09	
							340-360	F5	0,24		320-340	F5	0,12	
							380-400	F6	0,59		360-400	F6	0,37	
							420-440	F7	0,63		440-460	F7	0,61	
							480-600	F8	27,06		500-640	F8	5,70	
	3	200	40-120	F1	236,71	619,25	40-120	F1	30,79	>75,03	40-120	F1	30,79	>38,43
			160-400	F2	362,85		220-260	F2	1,22		220-260	F2	1,22	
			460-480	F3	4,38		360-400	F3	0,82		360-400	F3	0,82	
			520-560	F4	7,86		480-660	F4	>42,20		520-660	F4	>5,60	
			600-620	F5	7,45									
	6	5	40-100	F1	26,81	470,23	40-60	F1	3,68	>16,36	40-60	F1	0,68	>2,51
			120-140	F2	4,18		100-120	F2	0,38		100-120	F2	0,19	
			160-480	F3	439,24		140-200	F3	0,44		140-160	F3	0,12	
							220-240	F4	0,59		220-240	F4	0,10	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15									
							340-400	F5	0,56		340-360	F5	0,08										
							480-660	F6	>10,72		480-520	F6	0,28										
											600-660	F7	>1,07										
	10	200	40-140	F1	255,75	448,19	40-100	F1	5,43	>32,53	40-80	F1	11,97	>18,65									
															220-260	F2	4,41	140-160	F2	1,16	100-140	F2	2,54
															280-640	F3	188,03	200-220	F3	0,41	220-240	F3	0,29
																		240-280	F4	1,99	320-400	F4	2,34
																		320-380	F5	3,06	460-480	F5	0,53
																		440-460	F6	0,44	540-560	F6	0,21
																		520-660	F7	>20,04	600-620	F7	0,22
							640-660	F8	>0,54														
	12a	5	60-140	F1	32,02	>51,45	40-80	F1	3,47	20,52	60-120	F1	3,12	>5,62									
															440-660	F2	>19,43	120-140	F2	1,45	260-280	F2	0,14
																		160-180	F3	11,53	300-320	F3	0,34
																		240-260	F4	0,47	340-380	F4	1,23

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							320-360	F5	1,19		400-420	F5	0,25	
							440-460	F6	0,27		560-580	F6	0,23	
							580-640	F7	2,14		620-660	F7	>0,32	
	126	100	40-140	F1	17,49	70,44	40-60	F1	1,20	5,76	40-60	F1	0,30	1,92
			160-200	F2	19,93		80-100	F2	0,27		120-140	F2	0,36	
			220-280	F3	21,70		120-140	F3	0,61		200-220	F3	0,10	
			420-520	F4	9,46		200-220	F4	0,41		260-280	F4	0,09	
			540-560	F5	1,86		260-280	F5	0,36		300-320	F5	0,13	
							300-340	F6	0,73		340-360	F6	0,16	
							380-400	F7	0,19		420-440	F7	0,11	
							420-440	F8	0,18		480-500	F8	0,10	
							480-500	F9	0,16		520-540	F9	0,25	
							520-540	F10	0,43		580-620	F10	0,34	
							560-620	F11	1,23					
	12ж	100	40-300	F1	69,81	>272,76	40-100	F1	8,11	>13,4	40-60	F1	2,70	13,1
			400-420	F2	0,76		220-240	F2	0,34		80-100	F2	0,8	

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			460-660	F3	>202,20		300-340	F3	2,45		120-140	F3	1,21	
							400-420	F4	0,36		180-200	F4	1,48	
							520-660	F5	>2,14		220-260	F5	1,88	
											280-300	F6	0,7	
											340-360	F7	0,28	
											380-460	F8	1,84	
											520-600	F9	2,21	
	12з	100	40-260	F1	141,89	>260,2	40-60	F1	1,88	5,94	40-60	F1	0,30	1,54
	420-680		F2	>118,31	80-100		F2	0,67	80-100		F2	0,13		
					140-160		F3	0,29	120-140		F3	0,12		
					180-200		F4	0,32	160-180		F4	0,11		
					240-280		F5	0,63	200-220		F5	0,1		
					380-400		F6	0,26	240-260		F6	0,09		
					460-500		F7	1,29	280-300		F7	0,09		
					600-640		F8	0,6	320-340		F8	0,08		

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
											360-380	F9	0,08		
											400-420	F10	0,07		
											440-460	F11	0,07		
											480-500	F12	0,06		
											520-540	F13	0,06		
											560-580	F14	0,06		
											600-620	F15	0,06		
											640-660	F16	0,05		
	5	200	40-120	F1	538,42	832,27	40-100	F1	38,61	74,76	40-140	F1	11,86		>17,53
			180-260	F2	127,21		120-140	F2	16,34		240-280	F2	1,36		
			280-440	F3	162,69		240-280	F3	4,16		300-340	F3	2,12		
			600-620	F4	3,95		360-380	F4	3,83		500-540	F4	0,83		
							420-440	F5	0,66		560-580	F5	0,65		
							460-480	F6	0,41		600-640	F6	>0,71		
							500-520	F7	0,41						

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							540-640	F8	10,35					
Псевдо фтанит ы	11а	15	40-160	F1	174,65	654,36	40-100	F1	6,70	>22,84	40-80	F1	4,53	8,07
			220-540	F2	479,71		140-160	F2	0,35		100-120	F2	1,02	
							200-240	F3	1,17		240-260	F3	1,27	
							300-340	F4	0,65		420-460	F4	0,72	
							380-400	F5	0,30		520-560	F5	0,54	
							440-460	F6	0,27					
							560-660	F7	>13,40					
	11б	5	40-80	F1	4,53	280,38	40-60	F1	1,88	6,34	40-60	F1	3,68	6,87
			120-140	F2	2,42		100-120	F2	0,64		100-120	F2	1,02	
			160-200	F3	2,06		140-180	F3	1,33		140-160	F3	0,46	
			240-340	F4	18,72		200-220	F4	0,30		240-260	F4	0,24	
			380-540	F5	252,65		240-260	F5	0,33		280-300	F5	0,26	
							300-360	F6	1,42		360-400	F6	0,67	
							580-620	F7	0,45		440-460	F7	0,55	

Таблица 4.2 - Сводная таблица результатов газовой-хроматографического анализа кварц-углеродистых метасоматитов В. Донбасса

Номер образца	Название образца	Температурный диапазон (в °С)	Состав газов	
			Название газа	Доля (в %)
11б	Псевдофтанит	540-380	CO ₂	1,4
			N ₂	98,2
			CH ₄	0,4
12д	Псевдокварцолит	520-360	CO ₂	4,8
			H ₂ O	14,3
			N ₂	80,9
10	Кварцевый гидротермалит	460-280	CO ₂	31,3
			H ₂ O	3,7
			N ₂	64,9
			CH ₄	0,1
12в	Псевдолидит	120 - 40	CO ₂	0,3
			H ₂ O	7,1
			N ₂	91,4
			CH ₄	0,6
			C ₂ H ₂	0,6

Согласно ранее проведенным многочисленным исследованиям (Майский Ю.Г. 1969; Ермаков Н.П.; Долгов Ю.А. 1979), истинные температуры минералообразования на 30-50⁰С выше температур гомогенизации. Модальные (средние) значения температур декриптации также на 30-50⁰С выше температур гомогенизации, то есть наиболее близки к истинным температурам минералообразования.

ВЫВОДЫ:

1) Породы осадочного генезиса Восточного Донбасса в процессе своего геологического развития претерпевали существенные наложенные процессы углеводородной флюидизации. Результатом разнообразных преобразований выступили различные термобарогеохимические признаки, к которым можно отнести – формы, размеры, составы и количества флюидных включений, температуры их гомогенизации и декриптации, значения F-показателей

флюидоактивности, конфигурация декриптограмм, данные газовой-хроматографических анализов.

2) В кварцевых гидротермалитах и псевдокварцолитах обнаружен богатый спектр флюидных включений, характеризующих весьма сложную историю и механизм формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса.

Для кварцевых гидротермалитов характерны первичные многофазовые включения, образовавшиеся в результате консервации высокоминерализованных рассолов, первично-вторичные существенно-газовые вакуоли, возникшие в процессе динамической разгрузки системы «минерал-флюид», и вторичные газовой-жидкие и полупрозрачные включения – реликты углеводородно-водных гидротермальных флюидов.

Во псевдокварцолитах обнаружены первичные кристаллогазовые включения, формирующиеся из надкритических флюидов, существенно-газовые первично-вторичные включения в зонах усадки при фазовых переходах минералов, а также газовой-жидкие и полупрозрачные вторичные включения, локализующиеся в тектонических трещинах из гидротермальных углеводородно-водных флюидов.

По совокупности полученных данных можно заключить, что формирование изученных кварц-углеродистых метасоматитов происходило в разные этапы гидротермального литогенеза, каждый из которых характеризуется определенными системами флюидных включений.

3) Согласно разработанной методики термобарогеохимических (ТБХ) исследований, все кварц-углеродистые метасоматиты подвергались трехкратному вакуумно-декриптометрическому анализу без разгерметизации реакционной камеры вакуумного декриптографа для изучения их фазовой структурной трансформации и моделирования подземных полихронных процессов рудообразования.

4) В ходе выполнения ТБХ исследований были установлено, что метасоматиты образовались при разных температурах и давлениях: кварцевые гидротермалиты сформировались при температурах 460-280⁰С и давлениях 50-70 МПа. В составе газов преобладали N₂, CO₂, H₂O и при ограниченном содержании CH₄. Псевдофтаниты при температурах 540-380⁰С и давлениях до 80-120 МПа, в составе флюидов среди газов преобладали N₂, CO₂, CH₄. Углеродистое вещество представлено инертинитом, антраксолитом, ренитом и другими тонкодисперсными органическими формам. Псевдолидиты до 200⁰С (120-40) и давлении 5-6 МПа., в составе флюидов среди газов присутствовали N₂, H₂O, CH₄, C₂H₂. Кварц-халцедон-углеродистые псевдолидиты имеют микроглобулярные выделения халцедона и органику, обволакивающую кварцевые зерна. Псевдокварцолиты образовались при температурах 520-360⁰С и давлениях до 150-200 МПа, в составе флюидов среди газов присутствовали N₂, H₂O, CO₂. Тела псевдокварцолитов имеют флюидные включения в виде кристаллогазовых вакуолей, что свидетельствует об их агрегатном состоянии в виде щелочных

кремнеземсодержащих рассолов. Специфическим является и присутствие высокотемпературного β -кварца, а также типичные гранобластовые структуры кварцевых агрегатов (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014).

Для песчаников и аргиллитов, находящихся на удалении от флюидизированных зон, характерны простые декриптограммы с двумя основными интервалами газовыделения (40-120° и 180-440°С) с максимумами 260-280°С - аргиллиты и 280-300°С – песчаники (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Труфанов А.В. и др. 2012; Рыбин И.В., Труфанов В.Н. 2012; Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рыбин И.В. и др. 2013; Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016; Рыбин И.В. 2016; Рыбин И.В., Труфанов В.Н. 2016).

5) При приближении к очагу флюидизации и в непосредственной близости от него (20-30м) на декриптограммах вмещающих пород появляются дополнительные эффекты газовыделения в среднетемпературной области (250-320°С), связанные очевидно с формированием вторичных гидротермальных минералов, описанных выше. Одновременно наблюдается сдвиг основных максимумов декриптации на 30-50°С в область более высоких температур, увеличивается общая флюидоносность проб (в 2-2,5 раза) по сравнению с фоновыми значениями, резко возрастает коэффициент газоносности ($K_r = \frac{\sum_{газов}}{H_2O}$) и восстановленности флюидов. В пробах из периферии очагов флюидизации появляются более тяжелые углеводороды (C_2H_4 и C_2H_6), а также H_2S и SO_2 , тогда как содержание H_2O резко падает.

6) Еще более контрастные различия в результатах вакуумной декриптометрии проб выявляются по показателям флюидоактивности F. F-показатель флюидоактивности – это энергетический показатель, отображающий мощность эффекта газовыделения. Суммарное значение F-показателя в углях варьирует от 361,0 усл.ед. (вдали от зоны флюидизации) до 900-1200 усл.ед. (в очаге флюидизации). Максимальными значениями F-показателей флюидоактивности среди метасоматитов отличаются псевдокварцолиты (в среднем 500у.е), а минимальными – псевдолидиты (в среднем 270у.е.), что вполне согласуется с концепцией углеводородной флюидизации угленосных отложений, представленной в работах П.Ф. Иванкина и Н.И. Назаровой, (2001); А.Н. Дмитриевского, (2000), В.Н. Труфанова, (2001) и других авторов.

При сравнении декриптограмм всех трех прогревов можно отметить, что происходит декриптация включений каждый раз при новых прогревах. Из этого следует, что с каждым последующим прогревом происходит высвобождение «глубокозапечатанных» включений в структуре. Такие включения носят название «клатратных» соединений (Труфанов В.Н., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В. и др. 2013; Рыбин И.В., Труфанов В.Н. 2015).

5. АВТОКЛАВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ В ТЕРМОБАРОГРАДИЕНТНЫХ УСЛОВИЯХ

Выделенные в предыдущей главе представительные пробы метасоматитов от каждой группы, а именно, кварцевых гидротермалитов, псевдофтанитов, псевдолидитов и псевдокварцолитов, подвергались термодинамической проработке в условиях автоклавного моделирования в разных режимах (стационарный, «обратный» взрыв, дросселирование).

5.1 Стационарный режим

Данный режим заключался в следующем:

Навеска пробы массой 36,3 г, фракцией -2+1мм помещалась в автоклав вместе с дистиллированной водой. Коэффициент заполнения составлял 90% от общей емкости автоклава, объемом 165см³. В данном опыте применялась единственная медная мембрана, которая запирала автоклав путём задавливания переходником. Она была обработана 10% H₂SO₄ и имела толщину 0,2мм. Данная мембрана имеет аббревиатуру МАП, что означает «мембрана автоклав-переходник». Производился нагрев при температурах 200-400⁰С. При достижении этой температуры и давлении 5МПа нагрев автоклава стабилизировали на этой отметке и удерживали 2 часа. Далее эксперимент завершался прекращением нагрева без разрыва запорной мембраны.

Общее характерное свойство для выделенных групп метасоматитов – это диспергация и резорбция материала в процессе автоклавной проработки (**Таблица 5.1**).

Состав фракций самый разнообразный, в зависимости от типа метасоматита.

Обломки кварцевого гидротермалита (10-Ба-С) серого, темно-серого и белого цветов. Имеются следы ожелезнения. Кварц мутный, корродирован, не имеет блеска.

Обломки псевдофтанита (11б-Ба-С) серого, темно-серого и белого цветов. Имеются следы ожелезнения и резорбции в серой и темно-серой массе. Белые вкрапленности в породе представлены кварцем. Он находится в рассеянном виде и присутствует по всей породе. Кварц мутный, на гранях скола имеет жирный и стеклянный блеск.

Обломки псевдолидита (12в-Ба-С) после эксперимента представляли собой частицы черного цвета с жирным блеском на гранях скола.

Таблица 5.1 - Результаты гранулометрического анализа проб кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, обработанных в разных режимах на автоклавной установке БАР-1М

Номер пробы	Размер фракций					
	-2+1мм.	-1+0,5мм.	-0,5мм +0,315мм	-0,315 +0,14мм	-0,14мм +0,071мм	-0,071мм.
10 (исходная)	100%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
10-Ба-С	98%	2%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
10-Бп-Д	93%	5%	1%	1%	не обн.	не обн.
10-Ба-ОВ	80%	8%	7%	3%	1%	1%
11б (исходная)	100%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
11б-Ба-С	95%	4%	1%	не обн.	не обн.	не обн.
11б-Бп-Д	92%	4%	2%	2%	не обн.	не обн.
11б-Ба-ОВ	79%	11%	6%	2%	1%	1%
12в (исходная)	100%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
12в-Ба-С	96%	3%	1%	не обн.	не обн.	не обн.
12в-Бп-Д	92%	4%	2%	1%	1%	не обн.
12в-Ба-ОВ	78%	9%	6%	4%	2%	1%
12д (исходная)	100%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
12д-Ба-С	92%	8%	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
12д-Бп-Д	90%	не обн.	не обн.	не обн.	10%	не обн.
12д-Ба-ОВ	75%	10%	6%	5%	3%	1%

Примечание - Ба - проба, находившаяся в автоклаве; Бп – проба, находившаяся в переходнике установки; С – стационарный режим; ОВ – режим «обратный» взрыв; Д – режим «дросселирование»; 10 – кварцевый гидротермалит; 11б – псевдофтанит; 12в – псевдолидит; 12д – псевдокварцолит.

Обломки псевдокварцолита (12д-Ба-С) после опыта представляли собой частицы серого, темно-серого и белого цветов. Белые зерна в пробе представлены кварцем. Кварц мутный, на гранях скола имеется жирный и стеклянный блеск.

По результатам гранулометрического анализа (см. **Таблицу 5.1**) во всех пробах наблюдается диспергация вещества, а именно, в меньшей степени в кварцевых

гидротермалитах и псевдолидитах, и в большей – псевдокварцолитах и псевдофтанитах. Очевидно, это связано с деструкцией зерен кварца за счет декриптации флюидных включений при 200-400⁰С и процессов резорбции.

Согласно разработанной методики термобарогеохимических исследований, все эти четыре типа пород подвергались вакуумно-декриптометрическому и газовой-хроматографическому анализу (**Таблица 5.2, 5.3**).

Декриптограмма **кварцевого гидротермалита из автоклава после стационарного режима (10-Ба-С)** является полимодальной, так как имеет 4 эффекта газовыделений (F₁-F₄) (**Рисунок 5.1**).

Первый эффект газовыделений (F₁) располагается в температурном интервале 40-140⁰С и составляет 407,02у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 100⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовыделений (F₂) располагается в температурном интервале 300-560⁰С и составляет 228,24у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 410⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

Третий эффект газовыделений (F₃) располагается в температурном интервале 720-740⁰С и составляет 2,84у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 730⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Четвертый эффект газовыделений (F₄) располагается в температурном интервале 780-800⁰С и составляет 2,7у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 790⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности (F_{общ}) всей декриптограммы составляет 640,8у.е.

По результатам газовой-хроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (**Таблица 5.3**): в первом эффекте - Н₂О, N₂; во втором и четвертом - N₂, СО₂; в третьем - N₂, Н₂О, О₂, СО₂;

Декриптограмма **псевдофтанита из автоклава после стационарного режима (11б-Ба-С)** является полимодальной, так как имеет 5 эффектов газовыделений (F₁-F₅) (**Рисунок 5.2**).

Первый эффект газовыделений (F₁) располагается в температурном интервале 40-60⁰С и составляет 3,68у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 50⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Второй эффект газовыделений (F₂) располагается в температурном интервале 120-140⁰С и составляет 0,36у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 130⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Таблица 5.2 - Сводная таблица температур декриптации F-показателей флюидоактивности проб кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса, обработанных в разных режимах на автоклавной установке БАР-1М

Группа пород	№ обр, режим эксперимента	Навеска (мг)	Температурный диапазон (°C)	F (y.e.)		F общ.
				F ₁ , F ₂ ... F _n		
1	2	3	4	5		6
Кварцевые гидротермалиты	10-Ба-С стационарный	200	40-140	F1	407,02	640,8
			300-560	F2	228,24	
			720-740	F3	2,84	
			780-800	F4	2,7	
	10-Ба-ОВ «обратный» взрыв	200	40-200	F1	274,00	452,04
			320-580	F2	175,62	
			800-820	F3	2,43	
	10-Бп-Д дросселирование	200	40-240	F1	238,79	410,04
			440-640	F2	171,25	
	Псевдофтаниты	11б-Ба-С стационарный	5	40-60	F1	3,68
120-140				F2	0,36	
200-240				F3	0,39	
360-440				F4	1,68	
480-660				F5	40,33	
11б-Ба-ОВ «обратный» взрыв		5	40-100	F1	2,41	121,14
			120-140	F2	0,36	
			160-180	F3	1,32	
			200-600	F4	117,04	
11б-Бп-Д дросселирование		5	40-100	F1	5,43	141,44
			300-480	F2	10,16	
			500-700	F3	125,85	
Псевдолидиты		12в-Ба-С стационарный	5	40-120	F1	2,29
	140-160			F2	0,81	
	180-340			F3	10,6	

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7		
			400-460	F4	1,74			
			580-600	F5	0,23			
	12в-Ба-ОВ «обратный» взрыв		40-180	F1	29,19	>37,27		
			460-500	F2	0,52			
			580-600	F3	0,23			
			660-700	F4	0,51			
			740-960	F5	>6,81			
			12в-Бп-Д дресселирование	40-200	F1		50,79	>58,66
	440-460			F2	0,21			
	640-660			F3	0,11			
	680-720			F4	0,3			
	740-940			F5	>7,26			
	Псевдокварцоли ты		12д-Ба-С стационарный	100	40-320	F1	263,11	472,79
					540-740	F2	209,67	
12д-Ба-ОВ «обратный» взрыв		40-420	F1		54,87	62,83		
		460-500	F2		7,96			
12д-Бп-Д дресселирование		40-320	F1		105,4	286,23		
		440-460	F2		3			
		500-520	F3		2,71			
		540-760	F4		175,12			

Таблица 5.3 - Сводная таблица результатов газовой-хроматографического анализа кварц-углеродистых метасоматитов В. Донбасса после автоклавного моделирования

Номер образца	Название образца, режим эксперимента	Навеска (в мг)	Температурный диапазон (в °С)	Состав газов	
				Название газа	Доля (в %)
1	2	3	4	5	6
10-Ба-С	Кварцевый гидротермалит после стационарного режима	200	40-140	H ₂ O	64,9
				N ₂	35,1
			300-560	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
			720-740	CO ₂	4,3
				H ₂ O	31,7
				N ₂	44
				O ₂	20
780-800	CO ₂	5,7			
	N ₂	94,3			
11б-Ба-С	Псевдофтанит после стационарного режима	20	120-140	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
			200-240	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
12в-Ба-С	Псевдолидит после стационарного режима	10	40-340	CO ₂	3,1
				H ₂ O	16,9
				N ₂	80
			400-460	CO ₂	0,9
				N ₂	99,1
			580-600	CO ₂	1,4
N ₂	98,6				
12д-Ба-С	Псевдокварцолит после стационарного режима	100	40-320	H ₂ O	99,9
				N ₂	0,1
			540-740	H ₂ O	100

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6
10-Ба-ОВ	Кварцевый гидротермалит после «обратного» взрыва	200	40-200	CO ₂	21,4
				H ₂ O	78,6
			320-580	CO ₂	21,2
				H ₂ O	78,8
11б-Ба-ОВ	Псевдофтанит после «обратного» взрыва	20	40-100	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
			120-140	N ₂	100
			160-180	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
			200-600	CO ₂	0,1
				N ₂	98,9
CH ₄	1				
12в-Ба-ОВ	Псевдолидит после «обратного» взрыва	10	40-180	H ₂ O	100
			580-600	H ₂ O	100
12д-Ба-ОВ	Псевдокварцолит после «обратного» взрыва	100	40-120	CO ₂	65,8
				N ₂	34,2
			460-500	CO ₂	53,3
				N ₂	46,7
10-Бп-Д	Кварцевый гидротермалит после дросселирования	200	40-240	CO ₂	0,6
				H ₂ O	10,5
				N ₂	88,9
			440-640	CO ₂	36,3
				H ₂ O	12,7
				N ₂	51
11б-Бп-Д	Псевдофтанит после дросселирования	20	40-100	CO ₂	0,1
				N ₂	99,9
			300-700	CO ₂	0,1

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6
				N ₂	98,9
				CH ₄	1
12в-Бп-Д	Псевдолидит после дресселирования	10	40-200	H ₂ O	99,9
				N ₂	0,1
			440-460	CO ₂	50
				N ₂	50
			640-720	CO ₂	80,8
				N ₂	19,2
12д-Бп-Д	Псевдокварцолит после дресселирования	100	40-320	H ₂ O	99,8
				N ₂	0,1
				CH ₄	0,1
			440-460	N ₂	55,6
				CH ₄	44,4
			500-760	H ₂ O	98,9
				N ₂	0,2
				CH ₄	0,1
				CO ₂	0,8

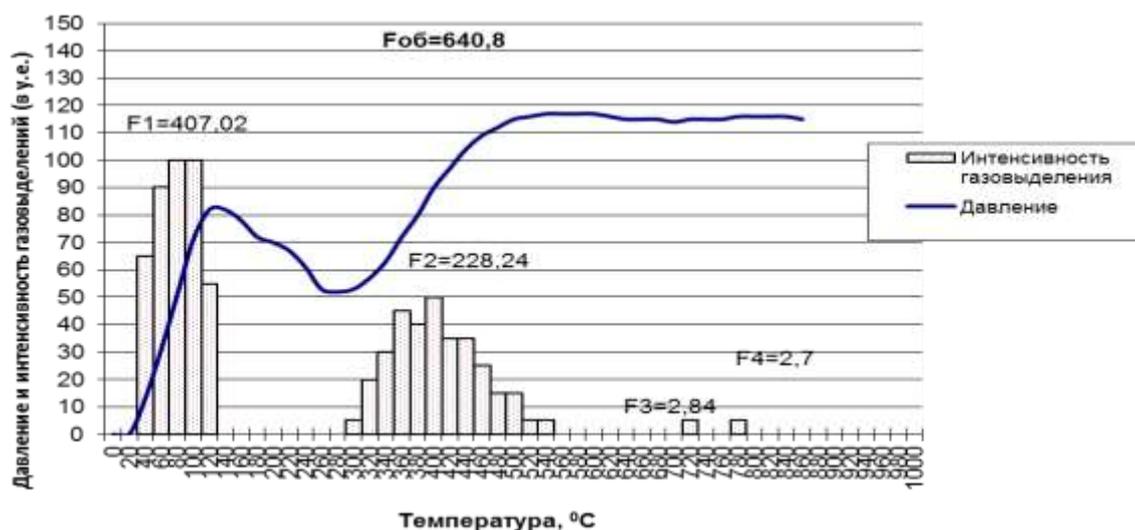


Рисунок 5.1 - Вакуумная декриптограмма обр. №10-Ба-С; Кварцевого гидротермалита из автоклава после стационарного режима; фр. -0,5+0,2мм; 200мг, уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт.

ст.

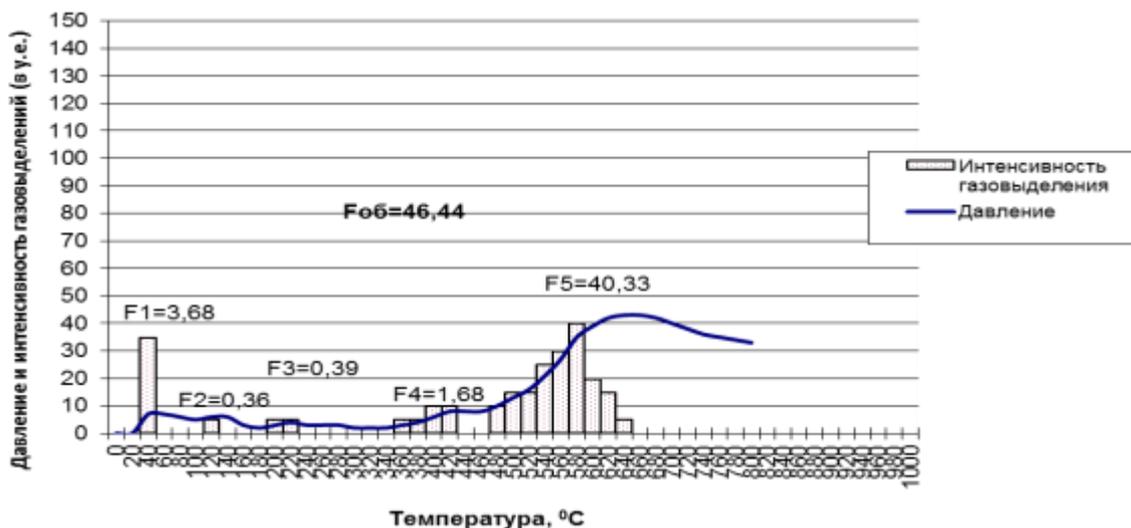


Рисунок 5.2 - Вакуумная декриптограмма обр. №11б-Ба-С; Псевдофтанита из автоклава после стационарного режима, фр. $-0,5+0,2$ мм; 5мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Третий эффект газовой выделений (F₃) располагается в температурном интервале 200-240⁰С и составляет 0,39у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 220⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Четвертый эффект газовой выделений (F₄) располагается в температурном интервале 360-440⁰С и составляет 1,68у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 420⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Пятый эффект газовой выделений (F₅) располагается в температурном интервале 480-660⁰С и составляет 40,33у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 590⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности (F_{общ}) всей декриптограммы составляет 46,44у.е.

В результате проведения газовой хроматографии газы не обнаружены в первом, четвертом и пятом эффектах газовой выделений, однако на декриптограмме эффекты имеются. Это говорит нам, что в результате диспергации материала включения уничтожились, а эффект получается благодаря попаданию диспергированного материала в лампу прибора. Что касаясь второго и третьего эффектов, то газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): N₂, CO₂.

Декриптограмма псевдолидита из автоклава после стационарного режима (12в-Ба-С) является полимодальной, так как имеет 5 эффектов газовой выделений (F₁-F₅) (**Рисунок 5.3**).

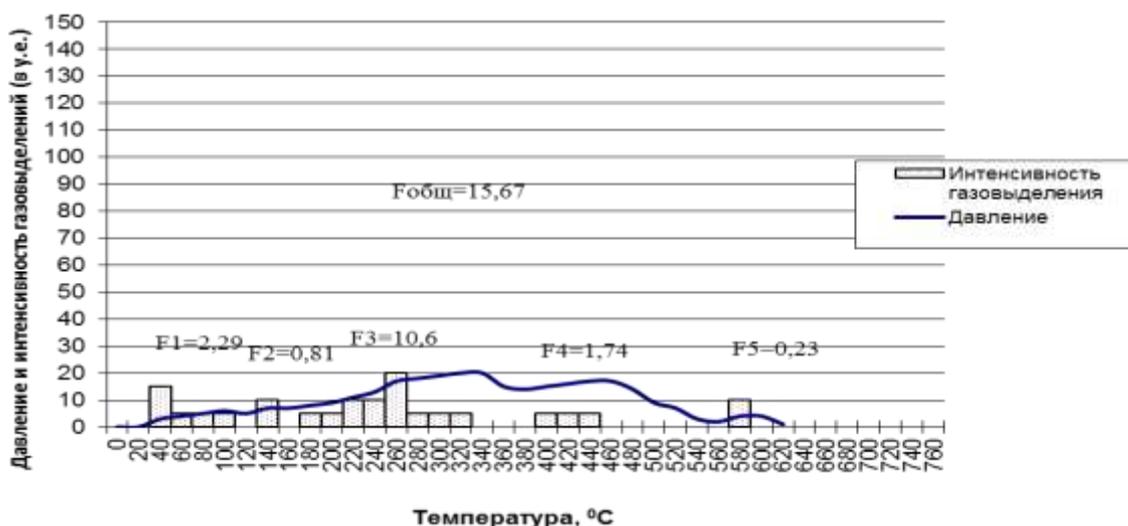


Рисунок 5.3 - Вакуумная декриптограмма обр. №12в-Ба-С; Псевдолидита из автоклава после стационарного режима, фр. $-0,5+0,2$ мм; 5 мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый (F_1), второй (F_2) и третий (F_3) эффекты газовой выделений целесообразно объединить в один ($F_1+F_2+F_3$). Располагается $F_1+F_2+F_3$ в температурном интервале $40-340^{\circ}\text{C}$ и составляет $13,7$ у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 270°C . Данная гистограмма асимметричная.

Четвертый эффект газовой выделений (F_4) располагается в температурном интервале $400-460^{\circ}\text{C}$ и составляет $1,74$ у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 430°C . Данная гистограмма симметричная.

Пятый эффект газовой выделений (F_5) располагается в температурном интервале $580-600^{\circ}\text{C}$ и составляет $0,23$ у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 590°C . Данная гистограмма симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{\text{общ}}$) всей декриптограммы составляет $15,67$ у.е.

По результатам газовой хроматографической анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): в первом эффекте - N_2 , H_2O , CO_2 ; во втором и третьем - N_2 , CO_2 ;

Декриптограмма псевдокварцолита из автоклава после стационарного режима (12д-Ба-С) является бимодальной, так как имеет 2 эффекта газовой выделений (F_1-F_2) (**Рисунок 5.4**).

Первый эффект газовой выделений (F_1) располагается в температурном интервале $40-320^{\circ}\text{C}$ и составляет $263,11$ у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 210°C . Данная гистограмма асимметричная.

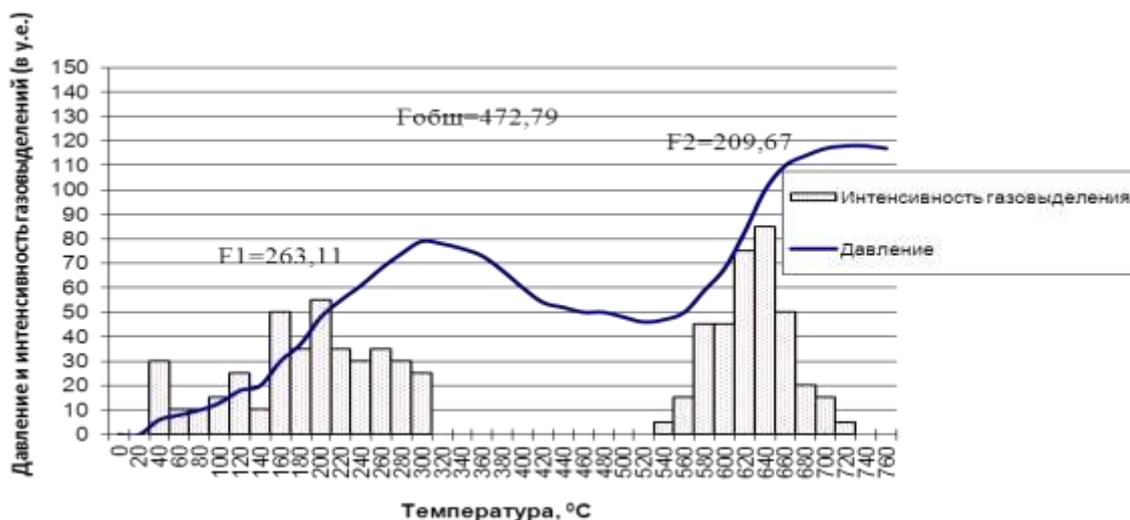


Рисунок 5.4 - Вакуумная декриптограмма обр. №12д-Ба-С; Псевдокварцолита из автоклава после стационарного режима, фр.-0,5+0,2мм; 100 мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Второй эффект газовыделений (F_2) располагается в температурном интервале 540-740⁰С и составляет 209,67у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 650⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{общ}$) всей декриптограммы составляет 472,79у.е.

По результатам газовой-хроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): в первом эффекте - H_2O , N_2 ; во втором - H_2O , что очевидно связано с заполнением взорванных включений водой из автоклава.

По результатам рентгеноструктурного анализа проб до автоклавного моделирования и после него можно сказать следующее (**Таблица 5.4**):

У пробы кварцевого гидротермалита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до стационарного режима, в основном, выше, нежели после проведения стационарного режима, что объясняется разупрочнением структуры. Это же касается количества значений межплоскостных расстояний. До режима их было меньше, нежели после автоклавного моделирования.

У пробы псевдофтанита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до стационарного режима, в основном, меньше, нежели после проведения стационарного режима. С количеством значений межплоскостных расстояний ситуация складывается диаметрально противоположная (до режима количество значений было больше, нежели после).

Таблица 5.4 - Результаты рентгенструктурного анализа проб кварц-углеродистых метасоматитов до автоклавного моделирования и после него

Обр. №10 Кварцевый гидротермалит				Обр. №10-Ба-С				Обр. №10-Ба-ОВ				Обр. №10-Бп-Д			
Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.	
		α-кварц				α-кварц				α-кварц					
I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
120	9,9912	-	-	95	7,0252	-	-	100	7,0137	-	-	125	6,9761	-	-
100	7,0396	-	-	75	4,4705	-	-	75	4,4467	-	-	60	4,9796	-	-
80	4,9513	-	-	300	4,2665	-	-	225	4,2455	5	4,24	75	4,4713	-	-
80	4,4672	-	-	75	3,5177	-	-	75	4,0087	-	-	610	4,2355	5	4,24
440	4,2496	5	4,24	1425	3,3423	10	3,34	60	3,6231	-	-	60	4,0198	-	-
80	4,0170	-	-	75	3,1907	-	-	60	3,5120	-	-	60	3,6520	-	-
80	3,6651	-	-	60	2,8999	-	-	1425	3,3363	10	3,34	70	3,4912	-	-
80	3,5051	-	-	55	2,7812	-	-	95	3,2085	-	-	1850	3,33	10	3,34
1600	3,3345	10	3,34	150	2,4569	5	2,45	60	2,9064	-	-	125	3,1854	-	-
120	3,1802	-	-	100	2,2813	5	2,280	50	2,7812	-	-	75	2,8892	-	-
160	2,4513	5	2,4531	75	2,232	4	2,231	60	2,5536	-	-	70	2,5567	-	-
140	2,2747	5	2,280	80	2,1305	5	2,123	100	2,4502	5	2,45	200	2,4471	5	2,45
80	2,2297	4	2,231	75	1,9787	4	1,975	90	2,2770	5	2,280	250	2,2751	5	2,28
120	2,1264	5	2,123	150	1,8175	9	1,813	75	2,2339	4	2,231	100	2,2270	4	2,231
80	2,0245	-	-	75	1,6701	5	1,668	100	2,1253	5	2,123	175	2,1195	5	2,123
100	1,9753	4	1,975	140	1,5408	9	1,539	75	1,9751	4	1,975	100	1,9744	4	1,975
240	1,8138	9	1,813	35	1,4505	4	1,450	150	1,8168	9	1,813	225	1,8149	9	1,813
80	1,6693	5	1,668	100	1,3739	9	1,372	75	1,6698	5	1,668	90	1,6682	5	1,668
								100	1,5419	9	1,539	175	1,5410	9	1,539
								40	1,4529	4	1,450	50	1,4500	4	1,450
								100	1,3712	9	1,372	150	1,3708	9	1,372

Продолжение таблицы 5.4

Обр. №116 Псевдофтанит				Обр. №116-Ба-С				Обр. №116-Ба-ОВ				Обр. №116-Бп-Д			
Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.		Рентгенограмма породы		Расшифровка по Михееву.	
		α-кварц				α-кварц				α-кварц					
I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n	I (имп/с)	dα/n	I	dα/n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
230	14,0351	-	-	190	14,0351	-	-	260	13,7940	-	-	200	9,8907	-	-
420	9,8889	-	-	440	9,8733	-	-	675	9,8208	-	-	175	7,0754	-	-
365	7,0565	-	-	280	7,0565	-	-	400	6,9925	-	-	90	4,9650	-	-
95	6,3226	-	-	70	6,3735	-	-	100	6,2752	-	-	90	4,4676	-	-
170	4,9736	-	-	110	4,9581	-	-	250	4,9511	-	-	250	4,2326	5	4,2257
150	4,7085	-	-	80	4,623	-	-	125	4,6666	-	-	75	4,0214	-	-
95	4,4580	-	-	80	4,4456	-	-	125	4,4310	-	-	110	3,6875	-	-
260	4,2332	5	4,24	330	4,2445	5	4,24	400	4,2257	5	4,2257	110	3,5302	-	-
65	3,9902	-	-	110	4,0202	-	-	125	4,0058	-	-	1050	3,3361	10	3,34
120	3,6620	-	-	100	3,6453	-	-	90	3,8438	-	-	175	3,1889	-	-
195	3,5254	-	-	140	3,5254	-	-	100	3,7433	-	-	90	2,9232	-	-
1235	3,33957	10	3,34	1600	3,3362	10	3,34	125	3,6397	-	-	175	2,5605	-	-
355	3,1781	-	-	185	3,1844	-	-	250	3,5174	-	-	150	2,4500	5	2,45
95	2,5558	-	-	80	2,8542	-	-	1525	3,3301	10	3,3301	75	2,3892	-	-
130	2,4532	5	2,45	80	2,5479	-	-	390	3,1729	-	-	100	2,2810	5	2,280
95	2,2782	5	2,280	150	2,4532	5	2,45	90	2,9654	-	-	90	2,2366	4	2,231
65	2,2296	4	2,231	80	2,2782	5	2,280	50	2,8358	-	-	130	2,1279	5	2,123
100	2,1224	5	2,123	70	2,2325	4	2,231	100	2,5552	-	-	100	1,9799	4	1,975
65	1,9902	4	1,975	140	2,1224	5	2,123	190	2,4452	5	2,4452	150	1,8167	9	1,813
130	1,8137	9	1,813	120	1,9787	4	1,975	50	2,3802	-	-	75	1,7798	-	-
50	1,6686	5	1,668	140	1,8137	9	1,813	125	2,2727	5	2,280	90	1,6660	5	1,668
95	1,5395	9	1,539	80	1,6686	5	1,668	100	2,2326	4	2,231	110	1,5392	9	1,539
35	1,4528	4	1,450	110	1,5395	9	1,539	150	2,1208	5	2,1208	60	1,4958	-	-
100	1,3710	9	1,372	120	1,3720	9	1,372	150	1,9922	4	1,975	165	1,3721	9	1,372
								290	1,8117	9	1,813	80	1,2873	-	-
								90	1,7175	-	-	90	1,2549	-	-

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
								100	1,6681	5	1,668	65	1,2284	-	-
								150	1,5410	9	1,539	65	1,1978	-	-
								100	1,3787	9	1,372	60	1,1797	-	-
								90	1,2873	-	-	50	1,1539	-	-
							90	1,2538	-	-					
							80	1,2274	-	-					
							80	1,1987	-	-					
							100	1,1786	-	-					
							90	1,1522	-	-					

Примечание - Ба - проба, находившаяся в автоклаве; Бп – проба, находившаяся в переходнике установки; С – стационарный режим; ОВ – режим «обратный» взрыв, Д – режим «дросселирование»;

У пробы псевдолидита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до стационарного режима, в основном, выше, нежели после проведения его, что объясняется деструкцией структуры. С количеством значений межплоскостных расстояний ситуация складывается аналогичная (до режима количество больше).

У псевдокварцолита при автоклавном моделировании поменялась модификация кремнезема с β на α .

При изучении **мембран**, которые использовались в экспериментах с данными породами, можно отметить следующее:

Внутренние (вогнутые) стороны мембран, используемых в опытах с кварцевым гидротермалитом (10-Бмап-С), псевдофтанитом (11б-Бмап-С), псевдокварцолитом (12д-Бмап-С), покрыты почти однотипным налетом темно-серого цвета. Мембрана, используемая в опыте с псевдолидитом (12в-Бмап-С) не покрыта материалом не на одной из сторон (Гамов М.И., Труфанов В.Н., Рыбин И.В. и др. 2014; Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В., Гамов М.И. 2015).

5.2 Режим «обратный» взрыв

При данном режиме использовалась навеска пробы массой 36,3 г, фракцией -2+1мм. Данный материал помещался в автоклав вместе с дистиллированной водой. Коэффициент заполнения составлял 90% от общего объема автоклава равного 165см³. В данном опыте применялась единственная медная мембрана, которая являлась запирающей автоклав, была обработана 10% H₂SO₄ и имела толщину 0,2мм. Данная мембрана имеет аббревиатуру МАП, что означает «мембрана автоклав-переходник». Далее из установки БАР-1М откачивался воздух на протяжении 2-ух часов. По окончании откачки воздуха производился нагрев до 200⁰С. При достижении этой температуры начиналась 2-ух часовая выдержка. После окончания выдержки производился дальнейший прирост температуры до разрыва мембраны. Разрыв мембраны происходил при разных температурах, в зависимости от типа метасоматита. В опыте с кварцевым гидротермалитом мембрана лопнула при $t^0=400^0\text{С}$, псевдофтанитом при $t^0=655^0\text{С}$, псевдолидитом при $t^0=537^0\text{С}$, псевдокварцолитом при $t^0=569^0\text{С}$. Расчетное давление при этом варьировало от 30 до 150МПа.

Общее характерное свойство для выделенных групп метасоматитов – это диспергация материала в процессе автоклавной проработки (см. **Таблицу 5.1**).

Состав фракций самый разнообразный, в зависимости от типа метасоматита.

После автоклавной переработки материал кварцевого гидротермалита (10-Ба-ОВ) представляет собой обломки серого, темно-серого и белого цветов. Имеются следы ожелезнения. Кварц мутный, не имеет блеска.

После автоклавной переработки материал псевдофтанита (11б-Ба-ОВ) представляет собой обломки серо-зеленого цвета с жирным блеском на гранях скола, а также новообразования в виде обломков оранжевого цвета пластинчатой отдельности с жирным блеском по плоскостям.

После автоклавной переработки материал псевдолидита (12в-Ба-ОВ) представляет собой обломки черного цвета. Имеется жирный блеск на гранях скола обломков.

После автоклавной переработки материал псевдокварцолита (12д-Ба-ОВ) представляет собой обломки черного и белого цветов с жирным блеском на гранях скола.

По результатам гранулометрического анализа для всех проб после обработки в режиме «обратного» взрыва характерна интенсивная деструкция с образованием широкого спектра мелких фракций (см. **Таблицу 5.1**). Наиболее существенная трансформация наблюдается в пробах псевдокварцолита (№12д), как и в опытах в стационарном режиме.

Согласно разработанной методики термобарогеохимических исследований, все эти 4 типа пород подвергались вакуумно-декриптометрическому и газово-хроматографическому анализу (см. **Таблицу 5.2, 5.3** соответственно).

Декриптограмма **кварцевого гидротермалита из автоклава после «обратного» взрыва (10-Ба-ОВ)** является полимодальной, так как имеет 3 эффекта газовойделения (F_1 - F_3) (**Рисунок 5.5**).

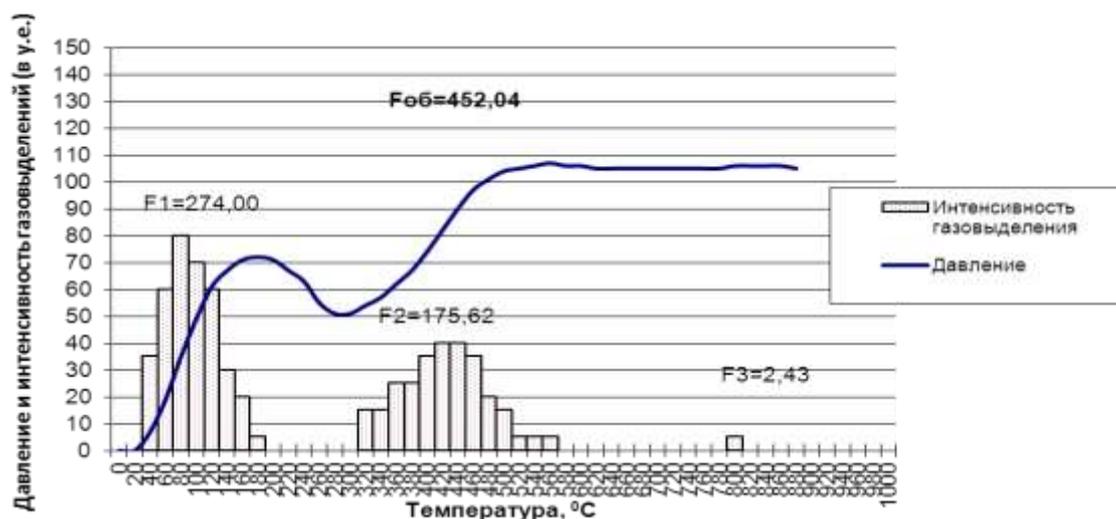


Рисунок 5.5 - Вакуумная декриптограмма обр. №10-Ба-ОВ; Кварцевого гидротермалита из автоклава после режима «обратного» взрыва, фр. $-0,5+0,2$ мм; 200мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм.

рт. ст.

Первый эффект газовойделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-200⁰С и составляет 274,00у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 90⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 320-580⁰С и составляет 175,62у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 440⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

Третий эффект газовойделений (F_3) располагается в температурном интервале 800-820⁰С и составляет 2,43у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 810⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{\text{общ}}$) всей декриптограммы составляет 452,04у.е.

По результатам газовойхроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. Таблицу 5.3): в первом и втором эффектах - H_2O , CO_2 ; в третьем - H_2O ;

Декриптограмма псевдофтанита из автоклава после «обратного» взрыва (11б-Ба-ОВ) является полимодальной, так как имеет 4 эффекта газовойделений (F_1 - F_4) (Рисунок 5.6).

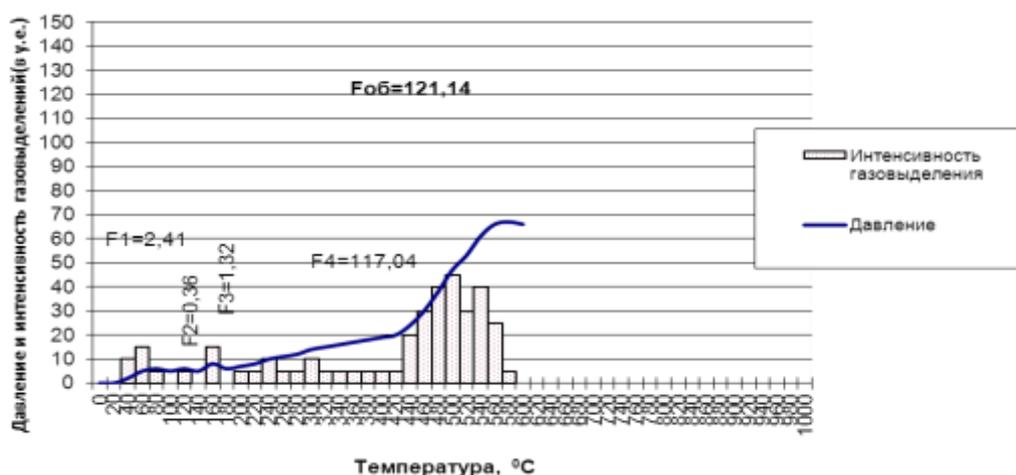


Рисунок 5.6 - Вакуумная декриптограмма обр. №11б-Ба-ОВ; Псевдофтанита из автоклава после режима «обратного» взрыва, фр. -0,5+0,2мм; 5мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый эффект газовойделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-100⁰С и составляет 2,41у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 70⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 120-140⁰С и составляет 0,36у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 130⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Третий эффект газовойделений (F_3) располагается в температурном интервале 160-180⁰С и составляет 1,32у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 170⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Четвертый эффект газовойделений (F_4) располагается в температурном интервале 200-600⁰С и составляет 117,04у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 510⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{общ}$) всей декриптограммы составляет 121,14у.е.

По результатам газовойхроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. Таблицу 5.3): в первом и третьем эффектах - N_2 , CO_2 ; во втором - N_2 ; в четвертом - N_2 , CH_4 , CO_2 ;

Декриптограмма псевдолидита из автоклава после «обратного» взрыва (12в-Ба-ОВ) является полимодальной, так как имеет 5 эффектов газовойделений (F_1 - F_5) (Рисунок 5.7).

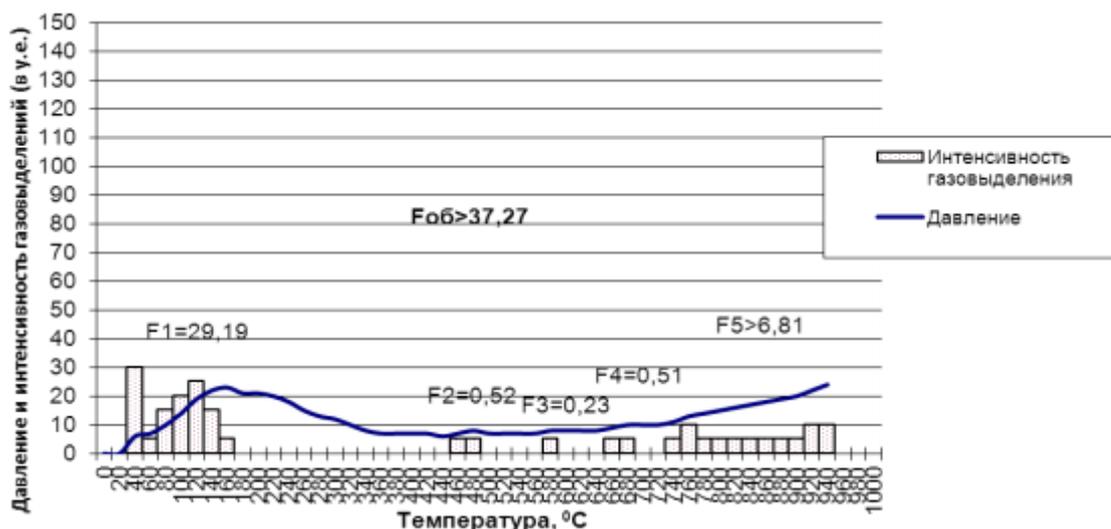


Рисунок 5.7 - Вакуумная декриптограмма обр. №12в-Ба-ОВ; Псевдолидита из автоклава после режима «обратного» взрыва, фр. -0,5+0,2мм; 5мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый эффект газовойделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-180⁰С и составляет 29,19у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 50⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 460-500⁰С и составляет 0,52у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 480⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Третий эффект газовой выделений (F_3) располагается в температурном интервале 580-600⁰С и составляет 0,23у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 590⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Четвертый эффект газовой выделений (F_4) располагается в температурном интервале 660-700⁰С и составляет 0,51у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 680⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Пятый эффект газовой выделений (F_5) располагается в температурном интервале от 740⁰С и выше 960⁰С и составляет более 6,81у.е. Нагрев не произведен до окончания эффекта по техническим причинам, поэтому максимум газовой выделений выделить сложно. Данная часть гистограммы приблизительно симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{общ}$) всей декриптограммы составляет более 37,27у.е.

В результате проведения газовой хроматографии газы не обнаружены во втором, четвертом и пятом эффектах газовой выделений, однако на декриптограмме эффекты имеются. Это говорит нам, что в результате диспергации материала включения уничтожились, а эффект получается благодаря попаданию диспергированного материала в лампу прибора. Что касаясь первого и третьего эффектов, то можно сказать, что они представлены H_2O (см. **Таблицу 5.3**).

Декриптограмма **псевдокварцолита из автоклава после «обратного» взрыва** является бимодальной, так как имеет 2 эффекта газовой выделений (F_1-F_2) (**Рисунок 5.8**).

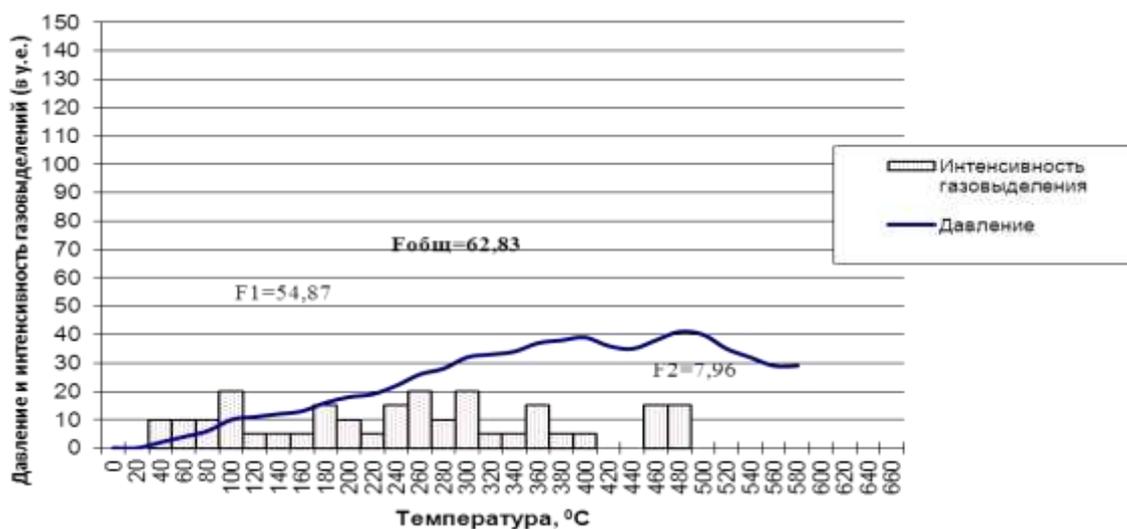


Рисунок 5.8 - Вакуумная декриптограмма обр. №12д-Ба-ОВ; Псевдокварцолита из автоклава после режима «обратного» взрыва, фр. -0,5+0,2мм; 100мг, уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый эффект газовой выделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-420⁰С и составляет 54,87у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 310⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовой выделений (F_2) располагается в температурном интервале 460-500⁰С и составляет 7,96у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 480⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{\text{общ}}$) всей декриптограммы составляет 62,83у.е.

По результатам газовой хроматографической анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): в обоих эффектах - CO₂, N₂.

По результатам рентгеноструктурного анализа проб до автоклавного моделирования и после него можно сказать следующее (см. **Таблицу 5.4**):

У пробы кварцевого гидротермалита до «обратного» взрыва меньше кол-во значений межплоскостных расстояний и больше величина значений интенсивности пиков. После проведения режима «обратного» взрыва всё в точности, да наоборот. Величина значений пиков интенсивности стала меньше, что объясняется разупрочнением структуры, но зато появились дополнительные значения межплоскостных расстояний.

У пробы псевдофтанита до «обратного» взрыва почти все пики имеют значения по интенсивности меньше, нежели после режима «обратного» взрыва.

У пробы псевдолидита до «обратного» взрыва больше значения пиков по интенсивности и больше количество значений межплоскостных расстояний. После «обратного» взрыва интенсивность пиков снижается, что объясняется разупрочнением структуры и уменьшается количество значений межплоскостных расстояний.

У пробы псевдокварцолита до «обратного» взрыва, в основном, значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния больше по сравнению с этими же значениями, но после «обратного» взрыва, что объясняется разупрочнением структуры. До режима количество межплоскостных расстояний больше, нежели после «обратного» взрыва.

При изучении **мембран**, которые использовались в экспериментах с выделенными типами, можно отметить следующее: мембраны 10-Бмап-ОВ, 11б-Бмап-ОВ, 12в-Бмап-ОВ, 12д-Бмап-ОВ вскрыты по центру с практически идеально круглым отверстием, диаметром 3 см.

Далее мембраны можно охарактеризовать только лишь по отдельности:

10-Бмап-ОВ

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет скопления материала в виде пылеватого налета матово-серого и стального цветов.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны частично покрыта зеленовато-серым материалом.

11б-Бмап-ОВ

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет скопления материала в виде зеленовато-серого материала пятнистого характера распределения с обломками бурого цвета.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны материалом не покрыта.

12в-Бмап-ОВ

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет скопления материала в виде зеленовато-серого налета с мелкими блестящими обломками черного цвета.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны частично по центру покрыта тем же самым материалом, что и вогнутая сторона мембраны. Картина приблизительно та же самая, но выпуклая сторона имеет этот материал в виде не сплошного налета и в гораздо меньшем количестве, нежели вогнутая сторона мембраны.

12д-Бмап-ОВ

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет скопления материала комковатого вида серо-зеленого цвета с мелкими кристаллами кварца. Кварц в основном представлен в виде прозрачных кристаллов.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны частично покрыта тем же самым материалом, что и вогнутая сторона мембраны. Картина приблизительно та же самая, но выпуклая сторона мембраны имеет этот материал, в основном, в виде налета и в гораздо меньшем количестве, нежели вогнутая (Гамов М.И, Труфанов В.Н., Рыбин И.В. и др. 2014; Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Рыбин И.В, Гамов М.И. 2015).

5.3 Режим дросселирования

При данном режиме, пробы массой 61,79г, фракцией -2+1мм помещались при каждом новом опыте в переходник. Автоклав общим объемом 165см³ был заполнен дистиллированной водой на 90%. Медные мембраны были установлены следующим образом: 1) на границе автоклава и переходника (аббревиатура МАП, что означает «мембрана автоклав-переходник»); 2) на границе переходника и реакционной камеры со сквозным отверстием, диаметром в 1мм посередине (аббревиатура МПРК, что означает «мембрана переходник-реакционная камера»); 3) в реакционной камере в виде мишени (аббревиатура МРК, что означает «мембрана реакционная камера»). Все эти мембраны были обработаны 10% H₂SO₄ и имели толщину 0,2мм. Далее из этой системы откачивался воздух на протяжении 2 часов. По окончании откачки воздуха производился нагрев автоклава в течении разного количества времени до момента разрыва

мембраны. Для кварцевого гидротермалита продолжительность нагрева составила 1 час 10 минут, а разрыв мембраны произошел при $t^0=575^0\text{C}$. Для псевдофтанита продолжительность нагрева составила 40 минут, а разрыв мембраны произошел при $t^0=465^0\text{C}$. Для псевдолидита продолжительность нагрева составила 20 минут, а разрыв мембраны произошел при $t^0=453^0\text{C}$. Для псевдокварцолита продолжительность нагрева составила 35 минут, а разрыв при $t^0=502^0\text{C}$. При этом расчетное давление варьировало от 50 до 120МПа.

Общее характерное свойство для выделенных групп метасоматитов – это диспергация материала в процессе автоклавной проработки (см. **Таблицу 5.1**).

Материал **кварцевого гидротермалита из переходника после дросселирования (10-Бп-Д)** представлен обломками зеленовато-серого, белого цветов со следами ожелезнения. Белые кусочки представлены кварцем. Обломки имеют матовый и жирный блеск.

Материал **псевдофтанита из переходника после дросселирования (11б-Бп-Д)** представлен обломками зеленовато-серого цвета с жирным блеском на гранях скола.

Материал **псевдолидита из переходника после дросселирования (12в-Бп-Д)** представлен обломками черного цвета. Обломки имеют сильный жирный и алмазный блеск. На обломках распространены следы ожелезнения.

Материал **псевдокварцолита из переходника после дросселирования (12д-Бп-Д)** представлен обломками черного цвета и кварца. Обломки черного цвета матовые предположительно с желтыми зернами сульфидов (пирит или халькопирит). Обломки кварца имеют светло-серый цвет, сильный жирный и алмазный блеск.

По результатам гранулометрического анализа для всех проб после обработки в режиме дросселирования характерна интенсивная деструкция с образованием широкого спектра мелких фракций (см. **Таблицу 5.1**). Наиболее существенная трансформация наблюдается в пробах псевдокварцолита (№12д), как и в опытах при стационарном режиме и «обратном» взрыве.

Согласно разработанной методики термобарогеохимических (ТБХ) исследований, все эти 4 типа пород подвергались вакуумно-декриптометрическому (ВДА) и газово-хроматографическому анализу (ГХА) (см. **Таблицу 5.2, 5.3** соответственно).

Декриптограмма **кварцевого гидротермалита из переходника после дросселирования (10-Бп-Д)** является бимодальной, так как имеет 2 эффекта газовыделений (F_1-F_2) (**Рисунок 5.9**).

Первый эффект газовыделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-240⁰С и составляет 238,79у.е. Максимум газовыделения наблюдается при 170⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 440-640⁰С и составляет 171,25у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 560⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

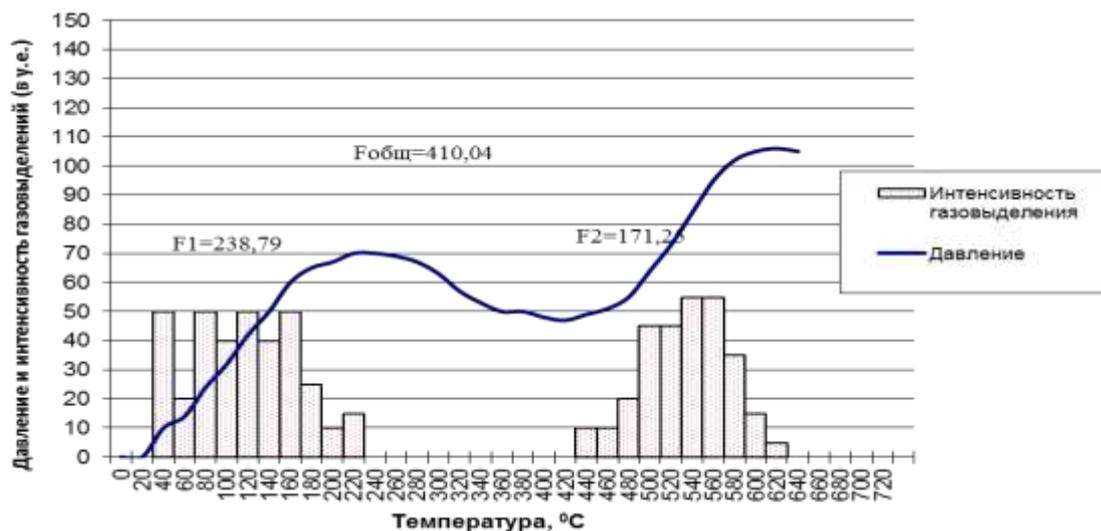


Рисунок 5.9 - Вакуумная декриптограмма обр. №10-Бп-Д; Кварцевого гидротермалита из переходника после режима дросселирования, фр. $-0,5+0,2$ мм; 200мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{общ}$) всей декриптограммы составляет 410,04у.е.

По результатам газовойхроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): в первом эффекте - N_2 , H_2O , CO_2 ; во втором - N_2 , CO_2 , H_2O .

Декриптограмма псевдофтанита из переходника после дросселирования (11б-Бп-Д) является бимодальной, так как имеет 2 эффекта газовойделений (F_1 - F_2) (**Рисунок 5.10**).

Первый эффект газовойделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-100⁰С и составляет 5,43у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 70⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй (F_2) и третий (F_3) эффекты газовойделений целесообразно объединить в один эффект. Этот объединенный эффект располагается в температурном интервале 300-700⁰С и составляет 125,85у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 610⁰С. Данная гистограмма почти асимметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{общ}$) всей декриптограммы составляет 141,44у.е.

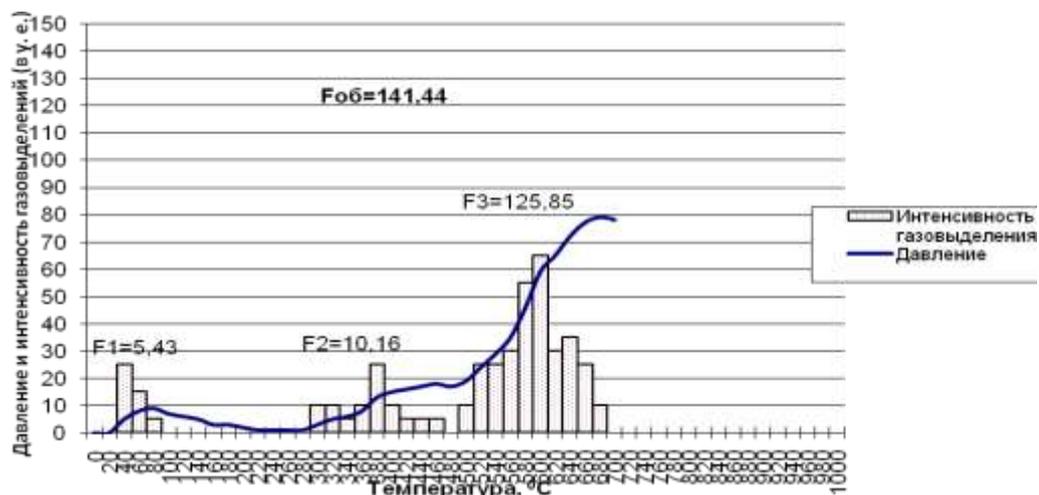


Рисунок 5.10 - Вакуумная декриптограмма обр. №116-Бп-Д; Псевдофтанита из переходника после режима дросселирования, фр. $-0,5+0,2$ мм; 5мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

По результатам газовой хроматографии газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. Таблицу 5.3): в первом эффекте - N_2 , CO_2 ; в втором - N_2 , CH_4 , CO_2 ;

Декриптограмма псевдолидита из переходника после дросселирования (12в-Бп-Д) является полимодальной, так как имеет 5 эффектов газовойделения (F_1 - F_5)(Рисунок 5.11).

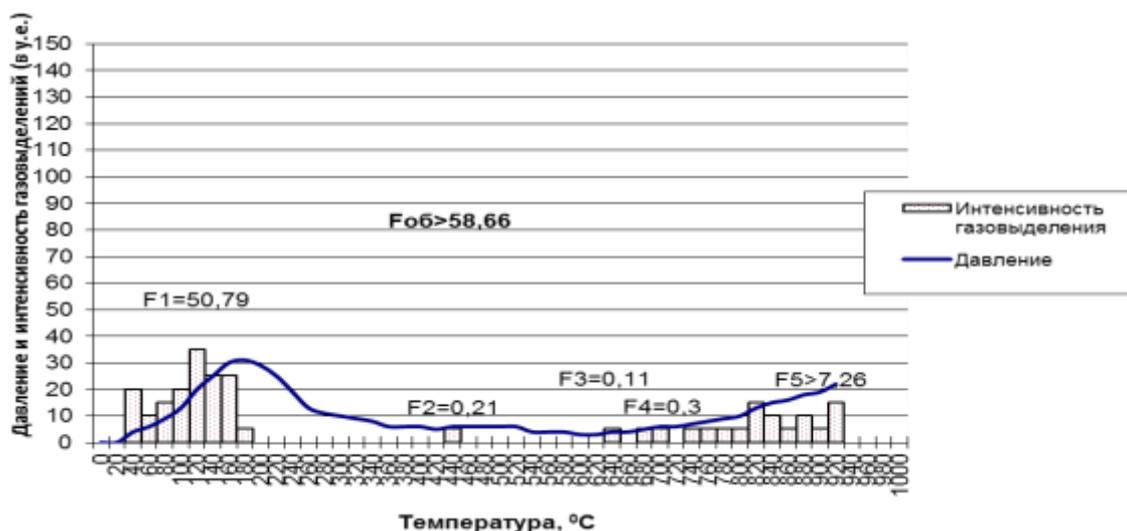


Рисунок 5.11 - Вакуумная декриптограмма обр. №12в-Бп-Д; Псевдолидита из переходника после режима дросселирования, фр. $-0,5+0,2$ мм; 5мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый эффект газовойделения (F_1) располагается в температурном интервале $40-200^{\circ}C$ и составляет 50,79 у.е. Максимум газовойделения наблюдается при $130^{\circ}C$. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 440-460⁰С и составляет 0,21у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 450⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Третий (F_3), четвертый (F_4), пятый (F_5) эффекты газовойделений целесообразно объединить в один эффект. Этот объединенный эффект располагается в температурном интервале от 640⁰С и свыше 940⁰С и составляет 7,67у.е. Нагрев не произведен до окончания эффекта по техническим причинам, поэтому максимум газовойделения выделить сложно.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{\text{общ}}$) всей декриптограммы составляет более 58,6бу.е.

По результатам газовой-хроматографического анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. Таблицу 5.3): в первом эффекте – H_2O , N_2 ; во втором - N_2 и CO_2 в равных долях; в третьем - CO_2 и N_2 .

Декриптограмма псевдокварцолита из переходника после дросселирования (12д-Бп-Д) является полимодальной, так как имеет 4 эффекта газовойделений (F_1 - F_4) (Рисунок 5.12).

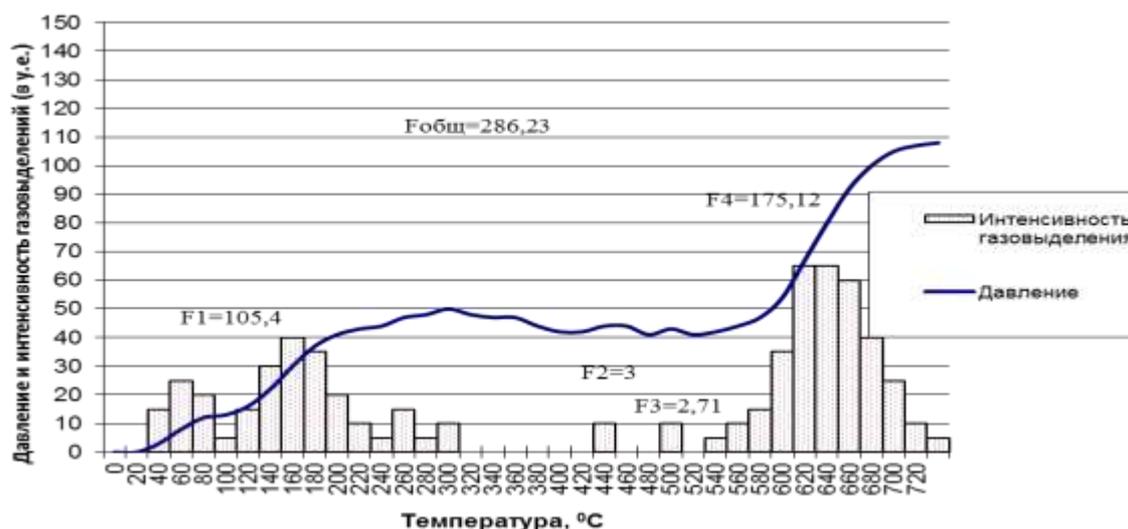


Рисунок 5.12 - Вакуумная декриптограмма обр. №12д-Бп-Д; Псевдокварцолита из переходника после дросселирования, фр. -0,5+0,2мм; 100мг; уровень вакуума $n \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст.

Первый эффект газовойделений (F_1) располагается в температурном интервале 40-320⁰С и составляет 105,4у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 170⁰С. Данная гистограмма асимметричная.

Второй эффект газовойделений (F_2) располагается в температурном интервале 440-460⁰С и составляет 3у.е. Максимум газовойделения наблюдается при 450⁰С. Данная гистограмма симметричная.

Третий (F_3) и четвертый (F_4) эффекты газовой выделений целесообразно объединить в один эффект. Этот объединенный эффект располагается в температурном интервале 500-760⁰С и составляет 177,83 у.е. Максимум газовой выделений наблюдается при 640⁰С. Данная гистограмма почти симметричная.

Общий коэффициент флюидоактивности ($F_{\text{общ}}$) всей декриптограммы составляет 286,23 у.е.

По результатам газовой хроматографической анализа газы расположились в следующем виде в порядке убывания (см. **Таблицу 5.3**): в первом эффекте – H_2O , а N_2 и CH_4 в равных долях; во втором - N_2 , CH_4 ; в третьем - H_2O , CO_2 , N_2 , CH_4 .

По результатам рентгеноструктурного анализа проб до автоклавного моделирования и после него можно сказать следующее (см. **Таблицу 5.4**):

У пробы кварцевого гидротермалита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до режима дросселирования, в основном, выше, нежели после его проведения. Это объясняется деструкцией и разупрочнением структуры породы. Количество значений межплоскостных расстояний после проведения автоклавного моделирования повысилось.

У пробы псевдофтанита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до режима дросселирования, в основном, меньше, нежели после его проведения. Количество значений межплоскостных расстояний после проведения автоклавного моделирования сократилось.

У пробы псевдолидита значения интенсивности пиков межплоскостного расстояния до режима дросселирования, преимущественно, выше, нежели после его проведения. Это объясняется деструкцией структуры породы после автоклавного моделирования. Количество значений межплоскостных расстояний после проведения автоклавного моделирования сократилось.

У псевдокварцолита при автоклавном моделировании поменялась модификация кремнезема с β на α .

При изучении **мембран**, которые использовались в экспериментах с выделенными типами метасоматитов, можно отметить следующее: мембраны 10-Бмап-Д, 11б-Бмап-Д, 12в-Бмап-Д, 12д-Бмап-Д вскрыты по центру с практически идеально круглым отверстием, диаметром 3 см.

Далее мембраны можно охарактеризовать только лишь по отдельности:

10-Бмап-Д

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет матово-серый налет, представленный тонкодисперсным материалом с мелкими кристаллами кварца. Кварц имеет в основном молочно-белый цвет. Также наблюдаются прозрачные кристаллы кварца.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны покрыта землистым налетом от серо-зеленого до темно-серого цвета. Встречаются редкие мелкие кристаллы кварца неправильной формы со стеклянным блеском на плоскостях излома раковистого типа.

11б-Бмап-Д

Данная мембрана не содержит скопления каменного материала.

12в-Бмап-Д

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет матовый темно-серый налет, представленный тонкодисперсным материалом. Также имеются скопления данного материала в виде натечных форм стального цвета и располагаются они в хаотичном порядке по поверхности мембраны.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны покрыта аналогичным материалом от серо-зеленого до темно-серого цвета в виде редких пятен.

12д-Бмап-Д

Внутренняя (вогнутая) сторона мембраны имеет матовый темно-серый налет, представленный тонкодисперсным материалом.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны покрыта тем же самым материалом такого же цвета, но помимо налета также имеются и комочки спекшихся частиц пробы.

При изучении **мембран** 10-Бмпрк-Д, 11б-Бмпрк-Д, 12в-Бмпрк-Д, 12д-Бмпрк-Д, можно отметить, что 1мм отверстия в середине мембран сохранили свои округлые очертания

Далее мембраны можно охарактеризовать только лишь по отдельности:

10-Бмпрк-Д

На внутренней (вогнутой) стороне мембраны отмечается налет в виде серовато-зеленых корочек, состоящих из тонкодисперсного материала с зернами кварца. Поверхность корочек матовая.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны покрыта тонкой корочкой того же вещества, что и внутренняя (вогнутая) сторона мембраны.

11б-Бмпрк-Д

На внутренней (вогнутой) стороне мембраны отмечается налет с комковатыми наростами. Основная масса налета светло-серого цвета, а отдельные комочки серовато-стального цвета с жирным блеском на гранях скола.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны не покрыта материалом.

12в-Бмпрк-Д

На внутренней (вогнутой) стороне мембраны отмечается налет с комковатыми наростами в виде темно-серого и черного материала, состоящего из тонкодисперсных частиц. Также имеются обломки породы, которые имеют алмазный и жирный блеск на гранях скола.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны покрыта тонкой не сплошной корочкой того же вещества, что и внутренняя (вогнутая) сторона мембраны.

12д-Бмпрк-Д

На внутренней (вогнутой) стороне мембраны отмечается налет с комковатыми наростами в виде темно-серых и черных тонкодисперсных частиц, а также кристалликов кварца белого цвета с алмазным блеском.

Внешняя (выпуклая) сторона мембраны содержит небольшое количество пробы лишь возле диффузионного отверстия в виде редких частиц темно-серого цвета.

При изучении **мембран** 10-Бмрк-Д, 11б-Бмрк-Д, 12в-Бмрк-Д, 12д-Бмрк-Д, можно отметить следующее:

10-Бмрк-Д

На поверхности мишени наблюдается очень тонкий налет светло-серого цвета с редкими комочками материала.

11б-Бмрк-Д

На поверхности мишени наблюдаются светло-серого цвета пятна с единичными обломками породы

12в-Бмрк-Д

На поверхности мишени, обращенной к автоклаву, наблюдаются светло-серого цвета пятна, состоящие из тонкодисперсных частиц.

12д-Бмрк-Д

На поверхности мишени, обращенной к автоклаву, наблюдаются светло-серого цвета пятна, состоящие из тонкодисперсных частиц.

В результате изучения всех мембран с помощью **электронной микроскопии**, использованных при различных режимах автоклавной проработки выделенных типов метасоматитов, можно сделать выводы:

При **стационарном режиме** при извлечении пробы из автоклава обнаружилось, что практически во всех пробах произошли однотипные изменения, заключающиеся в частичной резорбции зерен минерального субстрата (**Рисунок 5.13, 5.14**), появлении реакционных каемок (**Рисунок 5.13**), а также в разбухании органического вещества. Наиболее интенсивно эти процессы проявлены в псевдолидитах и псевдофтанитах, в меньшей степени – в псевдокварцолитах и кварцевых гидротермалитах. Также наблюдается во всех пробах диспергация вещества, а именно, в меньшей степени в кварцевых гидротермалитах, псевдофтанитах, псевдолидитах и в большей – псевдокварцолитах (см. **Таблицу 5.1**).

При **режиме «обратный» взрыв** при извлечении пробы из автоклава обнаружилось, что практически во всех пробах произошли однотипные изменения, заключающиеся в интенсивной

деструкции зерен минерального субстрата, в образовании сахаровидных (Рисунок 5.15) и хлопьевидных агрегатов (Рисунок 5.16), и появлении реакционных каемок на зернах кварца, а



Рисунок 5.13 - Проявлена резорбция на гранях кварца и появление реакционных каемок. (Общий вид псевдокварцолита после стационарного режима; снимок под бинокляром с ув. 25*).

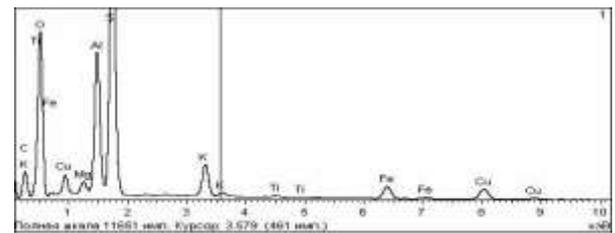
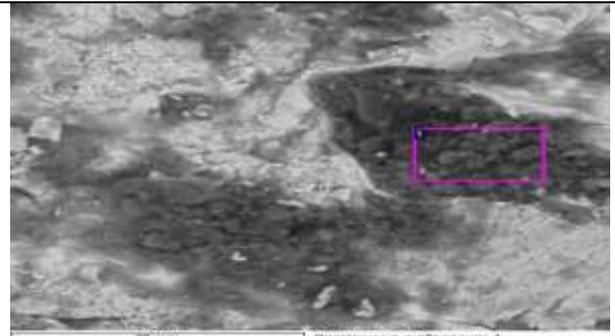


Рисунок 5.14 – Проявлена резорбция на гранях кварца. (Общий вид материала псевдокварцолита на мембране после стационарного режима; электронный снимок).

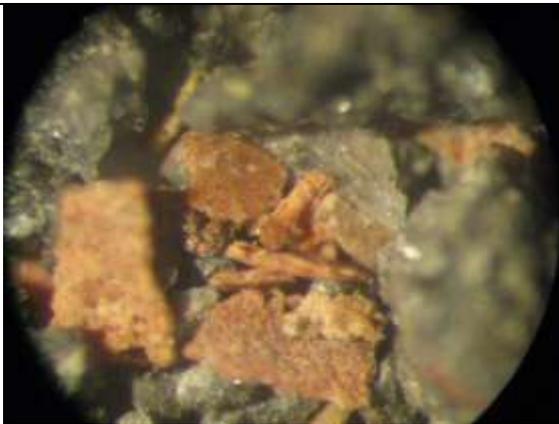


Рисунок 5.15 - Новообразования с сахаровидной структурой во псевдофтаните после обработки в условиях «обратного» взрыва под бинокляром при ув. 25*

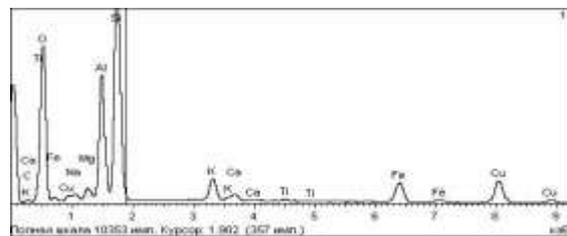
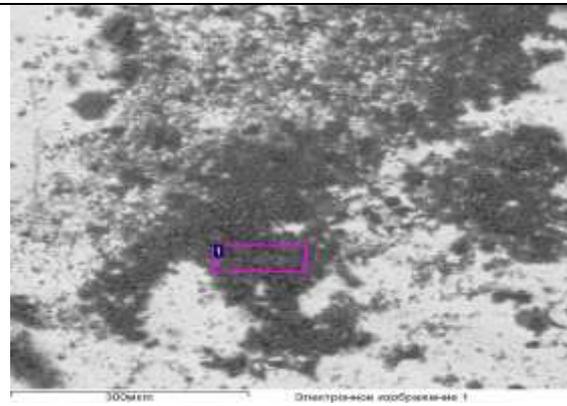


Рисунок 5.16 - Хлопьевидная текстура кварцевого гидротермалита на мембране после обработки при режиме «обратного» взрыва (электронный снимок)

также в разбухании и диспергации органического вещества. Наиболее интенсивно эти процессы проявлены в псевдолидитах и псевдокварцолитах, в меньшей степени – в псевдофтанитах и кварцевых гидротермалитах (см. **Таблицу 5.1**).

При **режиме «дресселирование»** при извлечении пробы из переходника обнаружилось, что практически во всех пробах произошли однотипные изменения, заключающиеся в интенсивной резорбции зерен минерального субстрата, появлении реакционных каемок, а также в гидрогенизации органического вещества. Наиболее интенсивно эти процессы проявлены в псевдолидитах и псевдофтанитах, в меньшей степени – в псевдокварцолитах и кварцевых гидротермалитах. Также наблюдается диспергация вещества, а именно в псевдокварцолитах, в меньшей степени – в кварцевых гидротермалитах, псевдофтанитах и псевдолидитах (см. **Таблицу 5.1**).

После изучения мембран были установлены следующие особенности:

- 1) Кристаллы сильвина после обработки псевдокварцолита (**Рисунок 5.17**),
- 2) Скопления серебра в виде минеральных обособлений после обработки кварцевого гидротермалита (**Рисунок 5.18**),
- 3) Новообразования кристаллов куприта на мембране после автоклавной проработки псевдофтанита (**Рисунок 5.19**),
- 4) Глобулярно-скелетная структура кремнезем-органического субстрата на мембране после автоклавной проработки псевдофтанита (**Рисунок 5.20**),

С пробами был проведен приближенно-количественный спектральный анализ, который показал, что каждый из 3 режимов автоклавного моделирования влияют на содержания подавляющего большинства макро+микроэлементов в породах. По результатам полуколичественного атомно-эмиссионного спектрального анализа, метасоматиты и продукты их переработки после автоклавного моделирования содержат следующие микроэлементы, находящиеся в количествах в 2 - 17 раз превышающие содержания, подлежащие количественной оценке в соответствии с Инструкцией по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев. М., Наука, 1987; Требованиям к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. М., ГКЗ МПР, 2000 (**Таблица 5.5**).

Обобщая результаты приближенно-количественного спектрального анализа можно сказать следующее (**Таблица 5.6, Рисунок 5.21**):

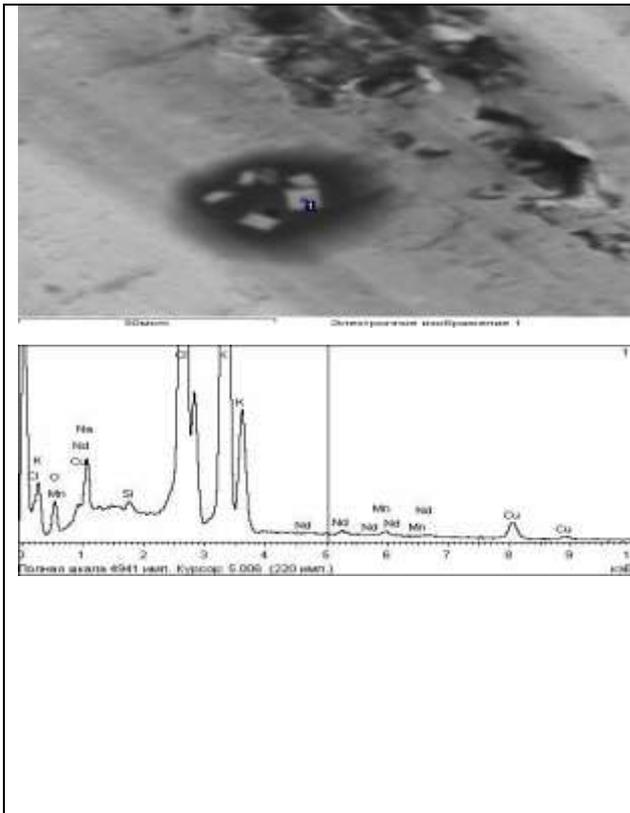


Рисунок 5.17 - Новообразованные кристаллы сильвина на мембране после обработки псевдокварцолита при режиме дросселирование (электронный снимок).

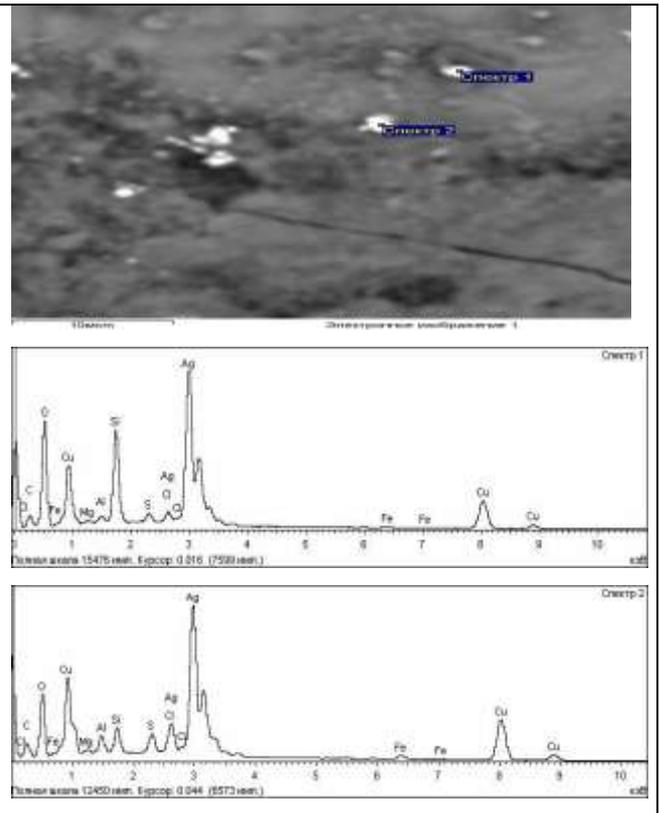
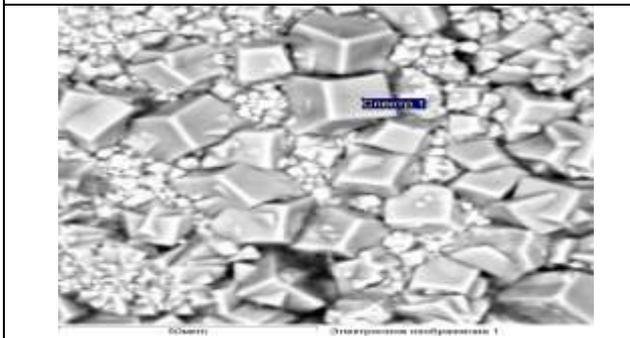
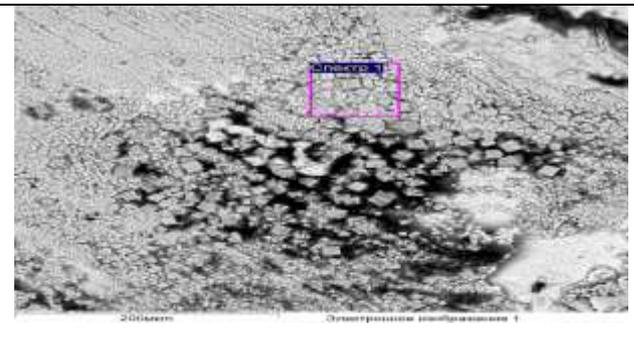


Рисунок 5.18 - Серебро на мембране в виде минеральных скоплений после обработки кварцевого гидротермалита при режиме дросселирование (электронный снимок).



Спектр	В стат.	C	O	Cl	Cu	Итог
Спектр 1	Да	1.73	16.19	3.55	78.53	100

Рисунок 5.19 - Новообразованные кристаллы куприта на мембране после обработки псевдофтанита при режиме дросселирование (электронный снимок)



Спектр	ст ат.	C	O	Mg	Si	S	Cl	Ca	Cu	Итог
Спектр 1	Да	5.83	16.12	0.4	0.4	0.6	2.68	0.26	73.77	100.

Рисунок 5.20 - Глобулярно-скелетная структура на мембране после обработки псевдофтанита при режиме дросселирование (электронный снимок)

Таблица 5.5 - Результаты приближенно-количественного спектрального анализа кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса до автоклавной обработки и после неё

№проб	Элементы (в г/г)						
	Ti	V	Cr	Zn	Zr	Bi	Pb
10 (кварцевый гидротермалит)	4000	100	80	150	1000	2	5
10-Ба-С	3000	60	50	80	500	2	15
10-Ба-ОВ	4000	80	60	150	700	2	8
10-Ба-Д	4000	80	80	80	1000	2	8
11б (псевдофтанит)	5000	100	150	100	400	2	20
11б-Ба-С	4000	150	100	60	200	2	15
11б-Ба-ОВ	4000	100	200	80	300	2	15
11б-Ба-Д	3000	100	150	150	200	2	20
12в (псевдолидит)	45	4	15	117	8	23	4
12в-Ба-С	39	4	8	24	8	<2	2
12в-Ба-ОВ	47	4	8	<23	8	<2	5
12в-Ба-Д	38	4	8	24	8	<2	3
12д (псевдокварцолит)	1248	80	48	83	50	3	126
12д-Ба-С	904	72	27	72	36	2	90
12д-Ба-ОВ	150	10	10	30	10	2	10
12д-Ба-Д	1340	72	36	89	45	2	54

Примечания

1. Ба - проба, находившаяся в автоклаве, Бп – проба, находившаяся в переходнике установки; С – стационарный режим, ОВ – режим «обратный» взрыв, Д – режим «дресселирование»;
2. Зеленый цвет заливки – содержания микроэлементов подлежат оценке согласно упомянутой «Инструкции...» и «Требованию к комплексному изучению...»
Красный цвет заливки - содержания микроэлементов не подлежат оценке.

Таблица 5.6 - Зависимости общего содержания микро+макроэлементов в кварц-углеродистых метасоматитах от режима автоклавной обработки

Номер пробы, название	Содержание макро+микроэлементов; г/т			
	Исходная проба	Стационарный режим	«Обратный» взрыв	Дросселирование
11б, псевдофтанит	41329,1	38810,1	41293,1	38150,1
12д, псевдокварцолит	31357,5	27579,5	6683,5	27879,2
10, кварцевый гидротермалит	48302,1	47278,1	46197,2	48567,1
12в, псевдолидит	11710,4	3149,5	8629,5	3870,5

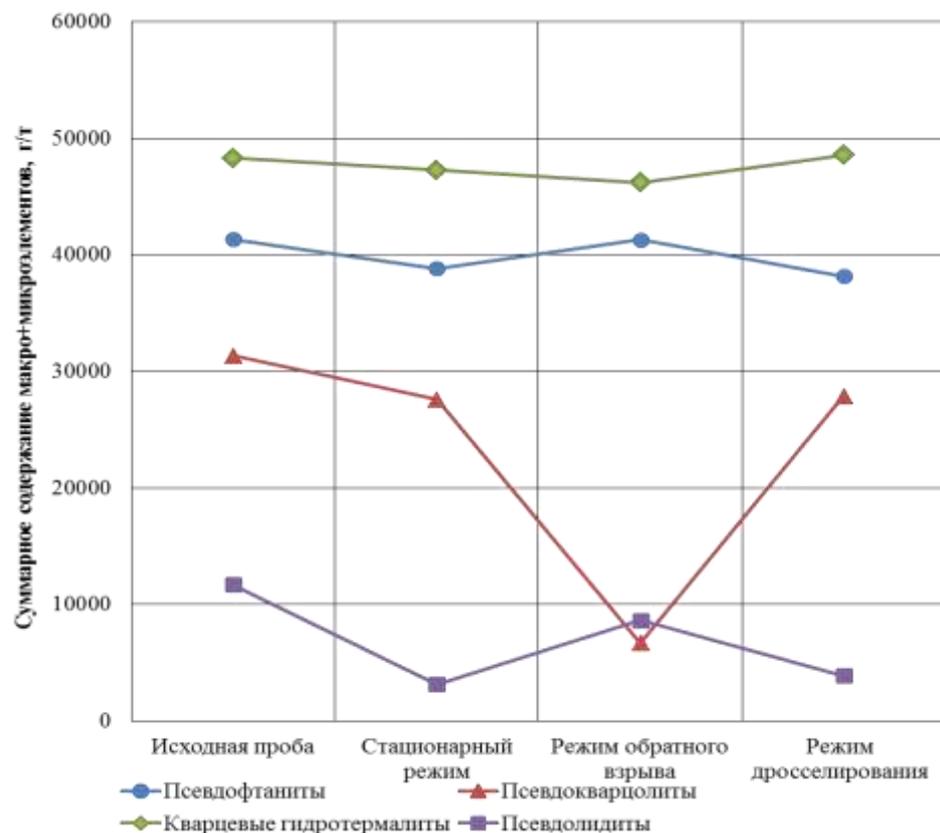


Рисунок 5.21 - Диаграмма зависимости общего содержания макро+микроэлементов в кварц-углеродистых метасоматитах от режима автоклавной обработки.

В результате автоклавной проработки пробы в стационарном режиме происходит в разной степени снижение содержаний макро+микроэлементов (микроэлементы: Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Zr, Nb, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, As, Zn, Cd, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Y, Yb, Sr, Li, макро-Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ba, P) во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в

порядке убывания содержания макро+микроэлементов, псевдолидид теряет 8560,9г/т, псевдокварцолит – 3778г/т, псевдофтанит - 2519г/т, кварцевый гидротермалит - 1024г/т.

В результате автоклавной проработки пробы в режиме «обратный» взрыв происходит в разной степени снижение содержаний макро+микроэлементов во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в порядке убывания, псевдокварцолит теряет 24674г/т, псевдолидид – 3080,9г/т, кварцевый гидротермалит – 2104,9г/т, псевдофтанит – 36г/т.

В результате автоклавной проработки пробы в режиме «дресселирование» происходит разнообразное изменение содержаний макро+микроэлементов во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в порядке убывания, псевдолидид теряет 7839,9г/т, псевдофтанит - 3179г/т, псевдокварцолит – 3478,3г/т, а вот кварцевый гидротермалит, напротив, приобретает макро+микроэлементов больше на 265г/т.

ВЫВОДЫ:

1) Проведено моделирование процессов деструкции кварц-углеродистых метасоматитов и извлечения из них промышленно-важных макро+микроэлементов в термобароградиентных условиях на автоклавной установке БАР-1М при РТ-параметрах, установленных по результатам термобарогеохимических исследований. Опыты осуществлялись в стационарном режиме, в режиме «обратного» взрыва и в режиме дресселирования с использованием в качестве активного агента дистиллированной воды.

2) По результатам гранулометрического, минералого-петрографического, электронно-микроскопического и рентгеноструктурного анализов установлено, что при всех трех режимах автоклавной переработки проб происходят однотипные, но разные по интенсивности трансформации первичного субстрата метасоматитов, заключающиеся в резорбции минеральных зерен, диспергации исходного минерального вещества, усложнение вакуумных декриптограмм и появлении дополнительных рефлексов на рентгенограммах, что в целом свидетельствует о глубокой переработке минерального вещества в термобароградиентных условиях.

3) Методами растровой электронной микроскопии установлено, что наряду с глубокой трансформацией кварц-углеродистых метасоматитов происходит ускоренный синтез кристаллов окислов титана, сфена и других минералов

4) По результатам спектрального анализа установлено интенсивное выщелачивание макро+микроэлементов и осаждение цветных, редких и благородных металлов на запирающих и дрессельных мембранах автоклавной установки БАР-1М, что свидетельствует о возможности их прямого извлечения из кварц-углеродистых метасоматитов. В результате автоклавной проработки пробы в стационарном режиме происходит в разной степени снижение содержаний

макро+микроэлементов (микроэлементы: Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Zr, Nb, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, As, Zn, Cd, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Y, Yb, Sr, Li, макро-Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ba, P) во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в порядке убывания содержания макро+микроэлементов, псевдолидидит теряет 8560,9г/т, псевдокварцолит – 3778г/т, псевдофтанит - 2519г/т, кварцевый гидротермалит - 1024г/т.

В результате автоклавной проработки пробы в режиме «обратный» взрыв происходит в разной степени снижение содержаний макро+микроэлементов во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в порядке убывания, псевдокварцолит теряет 24674г/т, псевдолидидит – 3080,9г/т, кварцевый гидротермалит – 2104,9г/т, псевдофтанит – 36г/т.

В результате автоклавной проработки пробы в режиме «дросселирование» происходит разнообразное изменение содержаний макро+микроэлементов во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. Конкретно, в порядке убывания, псевдолидидит теряет 7839,9г/т, псевдофтанит - 3179г/т, псевдокварцолит – 3478,3г/т, а вот кварцевый гидротермалит, напротив, приобретает макро+микроэлементов больше на 265г/т. (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014; Гамов М.И, Труфанов В.Н., Рыбин И.В. и др. 2014; Рыбин И.В, Гамов М.И. 2015; Рыбин И.В., Труфанов В.Н., Труфанов А.В. 2016).

6. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

6.1 Генетическая типизация кварц-углеродистых метасоматитов на примере Восточного Донбасса

Геотектоническая позиция важнейших угленосных бассейнов и особенности их строения позволяют утверждать, что ископаемые угли высоких степеней метаморфизации всегда приурочены к зонам интенсивной тектонической подвижности и проницаемости земной коры. Это обуславливает возможность широкомасштабного транспорта в угленосные бассейны миогеосинклинального или авлакогенного типа мантийных и внутрикоровых флюидов с последующим активным взаимодействием их с вмещающими породами и самими углями. В таких бассейнах как, например, Донбасс широко развиты гипабиссальные интрузивные тела и гидротермальные жилы, а их краевые (бортовые) части изобилуют многочисленными нефтегазовыми проявлениями и месторождениями полиметаллической, ртутной и золоторудной формации (Никитовское месторождение, золоторудные проявления Керчик-Кондаковской зоны и др.) (см. **Рисунок 3.1**).

В самих угольных пластах, в тектонических зонах отчетливо фиксируются признаки флюидогенного преобразования органического и силикатного материала: локальная (пестрая, мозаичная) смена марок угля по простиранию и падению угольных пластов; направленный вынос магния, кальция, натрия и привнос железа, титана, меди, ртути, свинца, цинка с одновременной аргиллизацией, окварцеванием и карбонатизацией углевмещающих пород.

С этими зонами связаны изученные нами кварц-углеродистые метасоматиты, представленные псевдолидитами, псевдофтанитами, псевдокварцолитами и кварцевыми гидротермалитами. Исследование этих специфических геологических объектов имеет теоретическое и практическое значение, так как они являются нетрадиционным видом минерального сырья для ряда современных отраслей промышленности и горного дела.

Как отмечено ранее, эти и аналогичные факты дали основание П.Ф. Иванкину и В.Н. Труфанову (Иванкин П.Ф., Труфанов В.Н. 1987) выдвинуть в свое время концепцию о широкомасштабных процессах углеводородной флюидизации ископаемых углей и их важной роли в металлогенической специализации угленосных бассейнов. Результаты исследований по термобарогеохимии ископаемых углей и углевмещающих пород, проведенных сотрудниками

кафедры МПИ РГУ в начале 1990-х гг., показали, что процессы углеводородной флюидизации широко развиты в крупных угольных бассейнах (Донбасс, Кузбасс и др.), с ними связаны мощные миграционные потоки различных, в том числе рудогенных элементов (титан, молибден, вольфрам, цинк, ртуть, золото) (Труфанов В.Н., Лосева А.Ф., Усачёва В.Н. 1993). Специфической является и геохимия основного органического элемента углей - углерода, для которого статистически достоверно установлены биогенные и эндогенные изотопно-различные формы нахождения в углях высоких степеней метаморфизма. Выявилась важная роль этих процессов в формировании выбросоопасных зон в угольных пластах (Лосев Н.Ф., Труфанов В.Н., Смирнов Б.В. и др. 1994).

Были получены предварительные данные о возможности направленного изменения технологических свойств каустобиолитов при воздействии на них углеводородными газами в термобарогradientных условиях (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г. и др. 2004). Эти результаты обобщены в отмеченной выше монографии, а также в докторской диссертации М.И. Гамова (Гамов М.И. 2004).

Рассмотрим некоторые важнейшие геотектонические особенности Донбасса, обуславливающие широкое развитие зон флюидизации и связанных с ними кварц-углеродистых метасоматитов в пределах этого классического авлакогена.

В геотектоническом плане Донбасский прогиб является одним из сегментов гигантского линеамента Карпинского, включающего систему сближенных глубинных разломов земной коры. Пояс глубинных разломов прослеживается вдоль герцинид Южного Тянь-Шаня, Мангышлака, севернее Ставропольского поднятия через Восточный Донбасс, Днепровско-Донецкую наложенную впадину и далее на запад (Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. 2001).

С гетерогенностью основания прогибов и разной геодинамикой глубинных разломов связаны существенные различия в истории палеозойского и мезо-кайнозойского их развития, в частности смена по простиранию пояса глубоких унаследованных палеозойских миогеосинклинальных прогибов (Ю. Тянь-Шань, восточная часть Донбасса) парамиогеосинклиналями и наложенными на консолидированное основание впадинами. Соответственно, по простиранию пояса сильно менялись режимы осадконакопления, интенсивность герцинской складчатости, дегазации, мантийного магматизма, характер и масштабы инверсионных поднятий герцинид, а также более поздние проявления мезо-кайнозойской тектоники и сопутствующие им процессы дегазации, минерагенеза и рудообразования.

Этими общими причинами обусловлена специфика размещения и латеральной смены по простиранию в пределах единого линеамента угленосных бассейнов (с углями от бурых до антрацитов), районов массового солеобразования, нефтегазонакопления, а также

металлогенических областей и провинций разного типа (золото-мышьяковых, ртутных и др.).

Таким образом, Донбасс по геотектоническому режиму развития является переходным образованием, в западной части которого преобладают признаки наложенного прогиба, а в восточной - унаследованной глубокой миогеосинклинали. Этим обусловлены: своеобразие дисгармоничной неоднородной складчатости палеозойских пород, проявления в них послыного и приразломного расланцевания, неинтенсивный на западе и постепенно повышающийся к востоку метаморфизм пород, ртутно-полиметаллическая, частью золото-мышьяковая металлогеническая специализация, а также появление нетрадиционных типов рудных и нерудных месторождений, связанных с соляными диапирами, вертикально прорывающими мощные неоднородные дислоцированные осадочные толщи.

Для Донбасса типичны также мелкие разновозрастные субщелочные базит-гипербазитовые и трондьемитовые интрузии, приразломные зоны эндогенного науглероживания, битуминизации и щелочно-кремневой флюидизации пород, что в совокупности с отмеченными выше его особенностями свидетельствует о многоэтапности глубинной дегазации и региональном проявлении процессов флюидизации при преобразованиях палеозойских осадочных толщ и углей.

В монографии П.Ф. Иванкина и Н.И. Назаровой (Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. 2001) отмечается, что главными каналами поступления флюидов, несомненно, служили зоны глубинных разломов. В складчатой структуре Донбасса они проявлены в виде центральной зоны крупных линейных складок вдоль главной антиклинали и двух параллельных ей периферических зон мелкой складчатости, а также сопряженных с ними взбросо-сдвигов, надвигов, зон расланцевания и катаклаза пород. В бортовых частях авлакогена они представлены серией тектонических нарушений (Южно-Донбасский, Персиановский, Северо-Донецкий и другие разломы), несомненно, имеющих связь с верхней мантией. Движения по зонам региональных глубинных разломов сопровождалось межпластовыми срывами и послыными пластическими дислокациями в пластах некомпетентных пород, к которым относятся не только соли и глины, но и угли низких степеней углефикации. По данным геофизических и геокосмических исследований, в последние годы на территории Донбасса выявлены также поперечные (субмеридиональные) зоны повышенной флюидопроницаемости и тепловых энергетических аномалий (Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н. 1990).

С учетом отмеченной многоэтапности процессов формирования авлакогена логично допустить, что угли Донбасса и углевмещающие породы в определенных структурах могли подвергаться неоднократной флюидизации при разных РТ-параметрах. Поэтому необходима выработка определенных критериев, позволяющих достаточно надежно выявлять процессы флюидизации и сущность вызываемых ими в углях и углевмещающих породах фазовых

структурно-вещественных и геохимических преобразований при разных PT -параметрах. Одним из впечатляющих результатов этих процессов является образование исследованных нами кварц-углеродистых метасоматитов, генетическая типизация которых возможна на основе фазовых превращений минералов кремнезема, сопровождающимися эффектами газовой выделения.

Кремнекислота — главный породообразующий компонент глин и других алюмосиликатных осадочных пород. То или иное ее поведение при метасоматических процессах во многом определяет текстурно-структурный облик и особенности состава этих пород. Степень подвижности кремнекислоты при катагенезе и метаморфизме осадочных угленосных пород и формы кристаллизации кремнезема зависят от флюидного режима, прежде всего от степени восстановленности или окисленности флюидов и их щелочности-кислотности.

На основании результатов проведенных термобарогеохимических исследований можно заключить, что кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса образовались под воздействием на углевмещающие породы глубинных мантийных флюидов в разные этапы флюидизации.

Псевдофтаниты образовались при температурах 540-380⁰С и давлениях до 80-120 МПа. В составе флюидов среди газов N₂, CO₂, CH₄. Эти метасоматиты сформировались при воздействии на алевриты преимущественно восстановленных флюидов. При этом сформировались наиболее сложные по составу кварц-гидрослюдисто-углеродисто-сульфидные метасоматиты.

Существенно кварцевые тела псевдокварцолитов сформировались при переработке преимущественно кварц-полимиктовых песчаников, при температуре 520- 360⁰С и давлениях до 150-200 МПа. В составе флюидов среди газов присутствовали N₂, H₂O, CO₂.

Кварцевые гидротермалиты сформировались при температурах 460 - 280⁰С и давлениях 50-70 МПа. В составе газов преобладали N₂, CO₂, H₂O и при ограниченном содержании CH₄.

Псевдолидиты сформировались при температурах 120 - 40⁰С и давлениях 5-6МПа, в составе флюидов среди газов присутствовали N₂, H₂O, CH₄, C₂H₂, CO₂.

Образование кварц-углеродистых метасоматитов отображается в значениях F -показателей флюидоактивности — максимальными отличаются псевдокварцолиты (в среднем 500у.е.), а минимальными — псевдолидиты (в среднем 270у.е.) (**Рисунок 6.1**), что вполне согласуется с концепцией углеводородной флюидизации угленосных отложений, представленной в работах П.Ф. Иванкина и Н.И. Назаровой (Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. 2001), А.Н. Дмитриевского (Дмитриевский А.Н. 1997), В.Н. Труфанова (Труфанов В.Н. 2009) и других авторов.

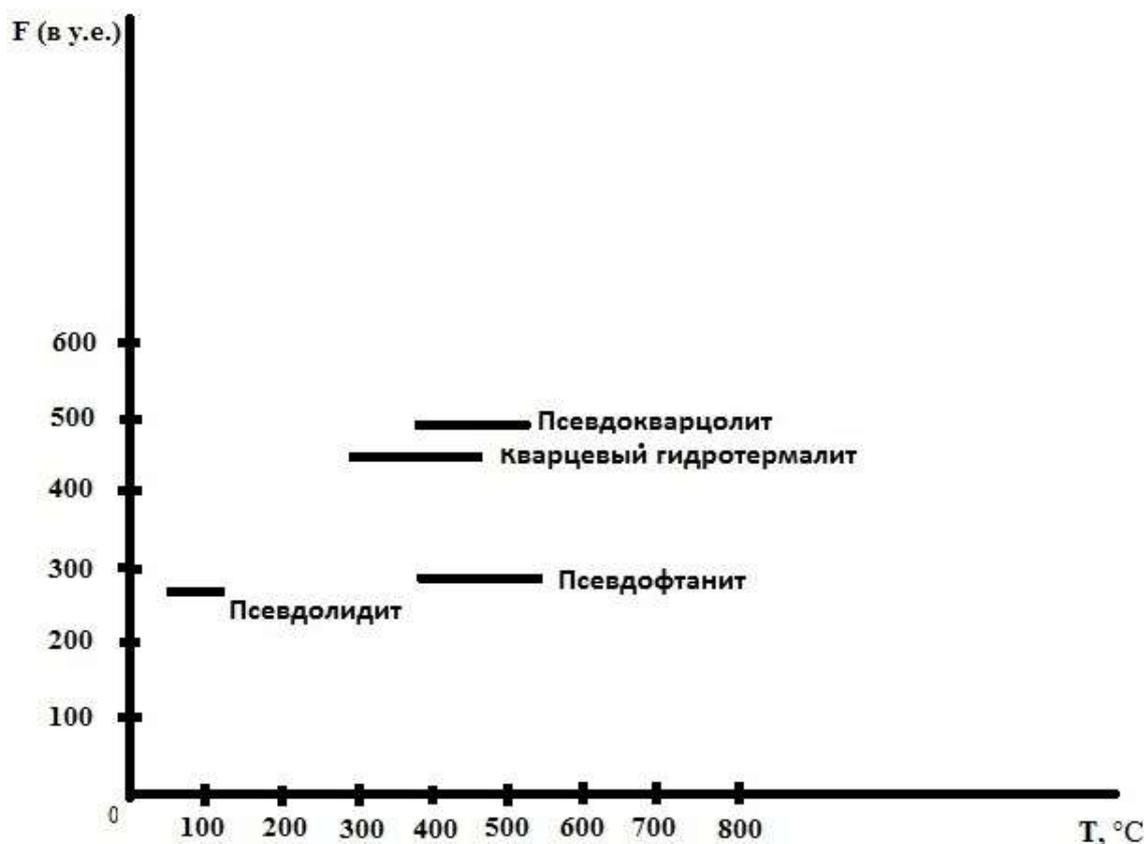


Рисунок 6.1 - Диаграмма зависимости между температурами минералообразования и F-показателем флюидоактивности кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса.

В данной диссертационной работе, в развитие этой концепции, впервые удалось детально охарактеризовать РТХ-параметры формирования широко развитых продуктов флюидно-метасоматического преобразования углевмещающих пород – кварц-углеродистых метасоматитов и установить их место в геологической истории развития Донецкого авлакогена (Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И. и др. 2014).

6.2 Перспективы комплексного использования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса

Проведенные в диссертационной работе исследования позволили определить следующие поисковые критерии выявления кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса:

- 1 - геолого-структурные (зоны углеводородной флюидизации),
- 2 - литологические (для псевдолидитов – аргиллиты, для псевдофтанитов – алевролиты, для псевдокварцолитов – песчаники),

3 - минералого-петрографические (резорбция и грануляция минералов, замещение минералов),

4 - геохимические (высокие и определенные суммарные содержания макро+микроэлементов),

5 - термобарогеохимические (высокие полимодальные декриптограммы).

Эти критерии могут быть также использованы при прогнозе неблагоприятных ситуаций (участков угольных пластов, опасных по внезапным выбросам газа и породы).

Проведена оценка практического использования кварц-углеродистых метасоматитов, включающая их применение для получения ценных макро+микроэлементов на основе специальных методик, основанных на процессах деструкции и фазовых переходах, возникающих в породе с применением автоклавной установки.

По результатам полуколичественного атомно-эмиссионного спектрального анализа, метасоматиты и продукты их переработки после автоклавного моделирования содержат следующие микроэлементы, находящиеся в количествах в 2 - 17 раз превышающие содержания, подлежащие количественной оценке в соответствии с актуальными данными, упомянутыми выше (Инструкция ...; Требование к ...).

Потенциально-промышленные концентрации микроэлементов: во псевдофтанитах - Ti, V, Cr, Zn; во псевдокварцолитах - Pb; в кварцевых гидротермалитах - Ti, V, Zr, Zn; во псевдолидитах - Bi, Zn.

Полученные данные автоклавного моделирования свидетельствуют о возможности извлечения микроэлементов из кварц-углеродистых метасоматитов при использовании описанных выше автоклавных методик. На их основе разработана принципиальная технологическая схема глубокой автоклавной переработки минерального сырья (**Рисунок 6.2**), которая реализована в патенте на изобретение №2542202 Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья, авторами которого являются А.В. Труфанов, В.Н. Труфанов, М.И. Гамов, И.В. Рыбин, В.Г. Рылов (Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Гамов М.И. и др. 2015).

Изобретение относится к извлечению цветных, редких и благородных металлов из минерального сырья, например, из углей, отходов их обогащения и сжигания. Исходное минеральное сырье измельчают до фракции 0,25-0,5мм, смешивают с водой в равном соотношении, загружают в рабочий объем автоклавной установки на 2/3 его объема, герметизируют запирающей мембраной и нагревают до температуры, значение которой соответствует максимуму давления на термобарограмме, полученной для данного сырья методом вакуумной декриптометрии. После окончания процесса выщелачивания вскрывают запирающую мембрану, при этом твердо-газово-жидкостный поток из замкнутого объема высокого давления со сверхзвуковой скоростью выбрасывается в вакуум реакционной камеры,

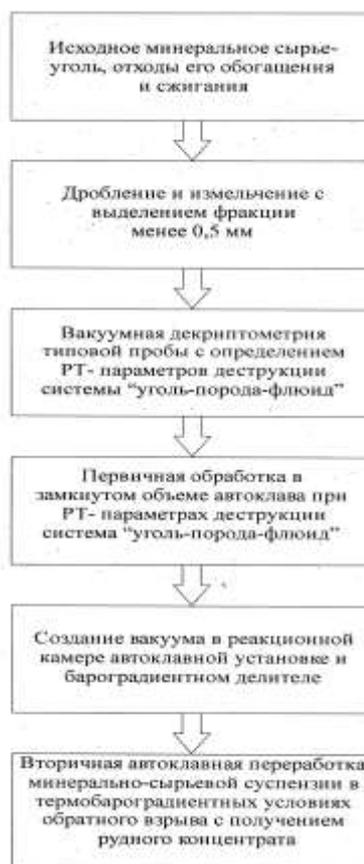


Рисунок 6.2 - Принципиальная технологическая схема глубокой автоклавной переработки минерального сырья.

отражается от ее цилиндрической стенки, создавая обратную ударную волну, что приводит к интенсивному флюидно-термическому растворению данного вида сырья.

Техническим результатом является повышение выхода макро+микроэлементов из минерального сырья за счет повышения интенсивности процесса разрушения металлоорганических соединений при обработке углей с разной степенью метаморфизма.

Исследованные метасоматиты, по предварительной оценке, можно использовать в качестве фильтрующих материалов, добавок при производстве кирпичного сырья, пробирного камня, получения сажистого углерода, фоамсила:

В качестве **фильтрующих материалов** подходят псевдолидит и псевдокварцолит.

В качестве добавок для **кирпичного сырья** пригодны все метасоматиты в связи с их высокой механической прочностью.

В качестве **пробирного камня** следует использовать псевдолидит и псевдофтанит, как слабометаморфизированные, тонкозернистые, углистые, кремнистые сланцы.

Эти типы метасоматитов отвечают основным требованиям к пробирному камню: твердость по минералогической шкале 4,7—6,5; содержание С = 8—23%. Также псевдолидит и псевдофтанит не имеют трещин и не реагируют с неорганическими кислотами и их смесями.

Для получения **сажистого углерода** можно использовать материал после автоклавной переработки псевдолидита и псевдофтанита. Сажистый углерод используют для приготовления чёрной краски в полиграфической и лакокрасочной промышленности, а также для наполнения резин и пластических масс.

При получении **фоамсила (пеностекла)** можно использовать псевдокварцолит. Эти метасоматиты накоплены и складированы в отходах углеобогатительных фабрик углепромышленных районов В. Донбасса в количествах превышающих 500 000т.

Кроме того, появление тел кварц-углеродистых метасоматитов в углепородных массивах при отработке угольных месторождений является одним из прогнозных признаков опасных газодинамических явлений.

ВЫВОДЫ:

1. В зонах тектонических нарушений и трещиноватости угленосных пород Восточного Донбасса в процессе воздействия высококонцентрированных восстановленных и окисленных флюидов на угли и углевмещающие породы сформировались при температурах 540⁰С-40⁰С и давлениях 200-5МПа кварц-углеродистые метасоматиты нескольких генетических типов. Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса – псевдофтаниты, псевдокварцолиты, кварцевые гидротермалиты и псевдолидиты образуют генетический ряд продуктов метасоматической переработки углевмещающих пород.

2. Флюидизацией обусловлена и потенциальная рудоносность кварц-углеродистых метасоматитов, в случае повышенных концентраций ряда элементов. Потенциально-промышленные концентрации микроэлементов: во псевдофтанитах - Ti, V, Cr, Zn; во псевдокварцолитах - Pb; в кварцевых гидротермалитах- Ti, V, Zr, Zn; во псевдолидитах - Bi, Zn. Данные метасоматиты также могут быть практически востребованы и использованы для изготовления пробирного камня, сажистого углерода, фоамсила и других специальных изделий для отраслей промышленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) В зонах нарушений и трещиноватости угленосных толщ Восточного Донбасса в результате флюидизации углепородных массивов образовывались, при температурах от 540⁰С до 40⁰С и давлениях в пределах 200-5МПа, под воздействием на угли и углевмещающие породы высококонцентрированных восстановленных и окисленных флюидов, кварц-углеродистые метасоматиты нескольких генетических типов с определенными структурно-фазовыми, минералогическими и химическими характеристиками. Этими процессами обусловлена и потенциальная рудоносность кварц-углеродистых метасоматитов, в случае повышенных концентраций ряда металлов.

2) Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса – псевдофтаниты, псевдокварцолиты, кварцевые гидротермалиты и псевдолидиты образуют генетический ряд продуктов метасоматической переработки углевмещающих пород.

3) Определены поисковые критерии выявления углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса.

4) Кварц-углеродистые метасоматиты представляют собой нетрадиционные виды минерального сырья угольных месторождений. Они могут быть практически востребованы и использованы, для изготовления пробирного камня, сажистого углерода, фоамсила и других специальных изделий для отраслей промышленности, а потенциально рудоносные метасоматиты – и для получения ценных микроэлементов. Установлены параметры и режимы автоклавного моделирования потенциально рудоносных кварц-углеродистых метасоматитов. Они проявлены в определенных изменениях термобарических показателей, реформации структурных модификаций кремнезема, вариациях качественного состава, количественного суммарного содержания микро+макроэлементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **А. с. 1505227 СССР.** Термобарогеохимический способ поиска гидротермальных рудных месторождений [Текст] / В.Н.Труфанов, А.Г.Грановский, Н.В.Грановская, А.Т.Ушак, Н.С.Прокопов (СССР). 01.05.1989.
2. **А. с. 322655 СССР.** Устройство для определения температур газовой выделения [Текст] / В.М.Демин, В.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, А.Т.Ушак (СССР). 13.09.1971.
3. **А. с. 662237 СССР.** Противопригарный материал в литейных смесях [Текст] / В.Н.Труфанов, Л.М.Барышевский, Н.В.Грановская, Л.Г.Епифанова и др. (СССР). 22.01.1979г.
4. **А. с. 738746 СССР.** Способ термической обработки песка для изготовления форм и смесей [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, Д.С.Мейлихов, И.И.Синицин, Л.Г.Епифанова, З.В.Майская (СССР). 14.02.1980г.
5. **А. с. 926046 СССР.** Автоклавная установка для переработки минерального сырья [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.А.Тимченко, Н.С.Прокопов, С.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, В.А.Самарский, А.Т.Ушак (СССР). 07.01.1982г.
6. **А. с. №2078335 РФ.** Способ измерения влажности материалов и устройство для его осуществления [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, А.В.Труфанов (РФ). 27.04.97.
7. **Александрова, Э.С.** Газово-хроматографический анализ газов, характерных для включений в природных минералах [Текст] / Э.С.Александрова, О.Ф.Миронова // Журнал аналитической химии. Т.33. - Вып.5. - 1978. - С.976-980.
8. **Арсмаков, Х.И.** Перспективы рудоносности юрских черносланцевых толщ в междуречье Терек-Аргун (Северный Кавказ) [Текст] / Х.И.Арсмаков, В.Н.Труфанов, А.В.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2011. - №2. - С.74-77.
9. **Богущ, И.А.** Геолого-генетическая модель медноколчеданного месторождения Кизил-Дере в Дагестане [Текст] / И.А.Богущ, В.Н.Труфанов, М.М.Курбанов, В.Г.Рылов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1999. - №4. - С.94-100.
10. **Галимов, Э.М.** Кавитация как механизм синтеза природных алмазов [Текст] / Э.М.Галимов // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1973. - №1. - С.80-85.

11. **Гамов, М.И.** Генетическая типизация руд Гитчетырнаузского месторождения и оценка перспектив их комплексного использования [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук / Гамов Михаил Иванович. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1993. - 38с.
12. **Гамов, М.И.** Закономерности формирования и перспективы комплексного использования металлоносных углей Восточного Донбасса [Текст] / М.И.Гамов, С.В.Левченко, В.Г.Рылов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов // Геология и геофизика. - 2016. - том 57. - №8. - С.1477-1487.
13. **Гамов, М.И.** Закономерности формирования метанообильных зон угольных месторождений Восточного Донбасса [Текст]: автореф. дис. д. г.-м.н. / Гамов Михаил Иванович. - Ростов-на-Дону: РГУ, 2004. - 48 с.
14. **Гамов, М.И.** Теоретическое и экспериментальное моделирование процессов деструкции металлоносных систем «уголь-порода-флюид» в термобароградиентных условиях [Текст] / М.И.Гамов, В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов // Руды и металлы. – Москва: ЦНИГРИ, 2014. - №6, - С. 43-51.
15. **Гамов, М.И.** Термобарогеохимические особенности формирования штокверкового и скарнового оруденения Гитчетырнаузского месторождения [Текст] / М.И.Гамов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1990. - №4. - С.90-94.
16. **Гипич, Л.В.** Особенности вещественного состава отвальных пород шахт Восточного Донбасса и новые направления их использования [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Гипич Лариса Викторовна. - Ростов-на-Дону: РГУ. 1998. - 25с.
17. **Гончаров, А.Б.** Геолого-генетические особенности и перспективы комплексного использования углеродсодержащих флюидизитов В. Донбасса [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Гончаров Алексей Борисович. - Ростов-на-Дону: РГУ. 2004. - 28с.
18. **Грановская, Н.В.** Минералогия и термобарогеохимия Белореченского баритового месторождения (Северо-Западный Кавказ) [Текст] / Н.В.Грановская // Записки ВМО. - 1984. - №4. - С.454-463.
19. **Грановская, Н.В.** Минералого-термобарогеохимические особенности и условия формирования баритовых месторождений междуречья Белая Лаба (Северный Кавказ) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Грановская Наталья Васильевна. - Ростов-на-Дону: РГУ. 1983.
20. **Грановский, А.Г.** О термобарогеохимических критериях глубинности полиметаллического оруденения на Северном Кавказе [Текст] / А.Г.Грановский //

- Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1978. - №1. - С.87-99.
21. **Грановский, А.Г.** Термобарогеохимия минералообразования на месторождениях Садонского рудного района [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Грановский Александр Григорьевич. - Ростов-на-Дону: РГУ. 1979. - 24с.
 22. **Гурьянов, В.В.** Формы нахождения метана в углях и геотехнологические методы дегазации угольных пластов [Текст]: монография / В.В.Гурьянов, В.Н.Труфанов, Н.Г.Матвиенко, В.А.Бобин. - Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000. - 62с.
 23. **Демин, В.М.** Универсальный декриптометр РУД-1 [Текст] / В.М.Демин, В.Н.Труфанов, С.А.Куршев // Бюллетень ОНТИ ВИЭМС. - 1965. - Вып. 71. - С.3-10.
 24. **Дмитриевский, А.Н.** Фундамент новых технологий нефтегазодобывающей промышленности [Текст] / А.Н. Дмитриевский // Вестник РАН. - 1997. - Т. 67. - №10. - С.893-904.
 25. **Долгов, Ю.А.** Автоматический термозвукорегистратор [Текст] / Ю.А.Долгов, Н.Д.Райхер // Минер. сб. Львовского геол. об-ва. 1953. № 7. - С.259-271.
 26. **Ермаков, Н.П.** Термобарогеохимия [Текст] / Н.П. Ермаков, Ю.А. Долгов. – Москва: Недра, 1979. - 272с.
 27. **Жамгоцев, О.С.** Вулканогенные породы девона междуречья Уруп-Теберда (Северный Кавказ) их минералогия, петрография, петрохимия [Текст]: дис. канд. геол.-мин. наук. - Ростов-на-Дону, 1967. - 232с.
 28. **Захарченко, А.И.** Минералообразующие растворы и генезис кварцевых жил [Текст] / А.И.Захарченко. – Москва: Недра, 1955. - 106 с.
 29. **Зельдович, А.Б.** Физика ударных волн и высокотемпературных газодинамических явлений [Текст] / А.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. – Москва: Наука, 1966. - 350 с.
 30. **Иванкин, П.Ф.** Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрогенезе, соле- и нефтеобразовании [Текст] / П.Ф.Иванкин, Н.И.Назарова. – Москва: ЦНИГРИ, 2001. - 206с.
 31. **Иванкин, П.Ф.** Об углеводородной флюидизации ископаемых углей [Текст] / П.Ф.Иванкин, В.Н.Труфанов // Доклады АН СССР. - 1987. - т. 292. - №5. - С.1214-1216.
 32. **Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев.** Москва: Наука, 1987
 33. **Кобзарева, Ж.С.** Минералого-термобарогеохимические особенности жильного кварца в рифейских осадочных комплексах Авзяно-Белорецкого золоторудного района

- (Южный Урал) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Кобзарева Жанна Сергеевна. - Ростов-на-Дону, 2007. - 24с.
34. **Коломенский, Г.Ю.** Вещественный состав и условия формирования флюорит-редкометального месторождения Солнечное (Центральный Казахстан) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Коломенский Глеб Юрьевич. - Ростов-на-Дону, 1973. - 24с.
35. **Косинский, В.А.** Возможности и перспективы изучения твердых горючих ископаемых методом вакуумной декриптометрии [Текст] / В.А.Косинский, В.Н.Труфанов, Н.И.Славгородский // Обзор ВИМС «Лабораторные и технологические исследования и обогащение минерального сырья». - Москва. - 1989. - 46с.
36. **Куршев, С.А.** Метакристаллы кварца в гранитных пегматитах Горного Алтая и Центрального Казахстана [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Куршев Сергей Анатольевич. - Ростов-на-Дону, 1967. - 20с.
37. **Лосев, Н.Ф.** Процессы и явления, формирующие и сопровождающие выбросы угля и газа [Текст] / Н.Ф.Лосев, В.Н.Труфанов, Б.В.Смирнов, Г.Д.Фролков // Препринт. - Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ. - 1994. - 48с.
38. **Любченко, В.А.** Генетические критерии прогноза глубинного полиметаллического оруденения на Северном Кавказе [Текст] / В.А.Любченко, В.Н.Труфанов, Н.В.Грановская, А.Г.Грановский // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1976. - №4. - С.79-84.
39. **Майский, Ю.Г.** Гранитные пегматиты междуречья Белая – Большой Зеленчук (Северо-Западный Кавказ) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Майский Юрий Григорьевич. - Ростов-на-Дону, 1969. - 38с.
40. **Майский, Ю.Г.** Термобарогеохимические условия формирования Краснодонского метаноугольного месторождения (Восточный Донбасс) [Текст] / Ю.Г.Майский, И.В.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2008. - №2. - С.113-117.
41. **Малахов, В.В.** Исследование газовой хроматографии [Текст] / В.В.Малахов // Геохимия. - 1977. - №8. - С.1192-1198.
42. **Мещанинов, Ф.В.** Геолого-структурные и термобарогеохимические условия формирования терриконов техногенных месторождений угольного ряда В.Донбасса (на примере Краснодонского углепромышленного района) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Мещанинов Федор Викторович. – Ростов-на-Дону, 2002. - 43с.
43. **Михеев, В.И.** Рентгенометрический определитель минералов [Текст] / В.И.Михеев. – Москва: Гос. научное тех. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1957. - 870 с.

44. **Никаноров, А.М.** Включения углеводородов в кальцитовых жилах Северо-Восточного Кавказа [Текст] / А.М.Никаноров, Э.С.Сианисян, М.И.Смирнова // Известия ВУЗов. Геология и разведка. - 1977. - №7. - С.44-47.
45. **Никаноров, А.М.** Использование методов декриптации для палеогеотермических реконструкций мезозойских отложений Восточного Донбасса [Текст] / А.М.Никаноров, Э.С.Сианисян // Геология и разведка. - 1976. - №12. - С.36-40.
46. **Пат. 2542202 Российская Федерация,** Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья [Текст] / А.В.Труфанов, В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, И.В.Рыбин, В.Г.Рылов; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет». - № 2013152720/02; заявл. 27.11.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. №5.
47. **Перник, А.Д.** Проблемы кавитации [Текст] / А.Д.Перник. – Москва, 1966. - 260 с.
48. **Петрографический кодекс России.** Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования [Текст]: - Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2009.
49. **Рёддер, Э.** Флюидные включения в минералах [Текст]: Т.1: Природа включений и методы их исследований / Э.Реддер. – Москва: Недра, 1987. - 558 с.
50. **Родзянко, Н.Г.** Определение температурного режима и последовательности минералообразования методом декрепитации [Текст] / Н.Г.Родзянко, В.Н.Труфанов, В.М.Демин // Записки ВМО. - 1964. - Ч.93. Вып.6.
51. **Рыбин, И.В.** Закономерности формирования рудогенных элементов в кварц-углеродистых метасоматитах Восточного Донбасса [Текст] / И.В. Рыбин, В.Н. Труфанов, А.В. Труфанов // VI Российская молодежная научно-практическая Школа с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования»: мат-лы конф. - Москва. – 2016. - С. 283-285.
52. **Рыбин, И.В.** Кварц-углеродистые метасоматиты угольно-породных массивов Восточного Донбасса как результат процессов углеводородной флюидизации [Текст] / И.В. Рыбин // VII Всероссийская школа молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия»: мат-лы конф. – Черноголовка, - 2016. – С. 46-48.
53. **Рыбин, И.В.** Нанодеструкция кварц-углеродистых метасоматитов в термобарогradientных условиях [Текст] / И.В.Рыбин, М.И.Гамов // Международная конференция молодых ученых стран БРИКС «Сотрудничество стран БРИКС для устойчивого развития»: мат-лы конф. – Ростов-на-Дону. -2015. - С. 266-270.
54. **Рыбин, И.В.** Новые данные по вакуумной декриптометрии кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса [Текст] / И.В. Рыбин, В.Н. Труфанов / Фестиваль

- Недели науки Юга России. Региональная студенческая конференция: мат-лы конф. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, - 2012. - Т.1. – С. 101-103.
55. **Рыбин, И.В.** Пироморфогенная трансформация породных отвалов угольных шахт Восточного Донбасса [Текст] / И.В.Рыбин, М.И.Гамов, Ф.В.Мещанинов // IV Российская молодежная научно-практическая Школа с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования»: мат-лы конф. – Москва: ИГЕМ РАН, - 2014. - С. 241-244.
56. **Рыбин, И.В.** Полистадийная вакуумная декриптометрия кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса [Текст] / И.В.Рыбин, В.Н.Труфанов // Научная конференция студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле»: мат-лы конф. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, - 2015. - С.79-80.
57. **Рыбин, И.В.** Теоретические и экспериментальные основы работы над диссертацией «Термобарогеохимия фазовых переходов и процессов деструкции систем «минерал-порода-флюид» Восточного Донбасса [Текст] / И.В.Рыбин // Всероссийская молодежная научная школа «Эффективная работа над диссертацией»: мат-лы конф. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, – 2012. – С. 178-180.
58. **Рыбин, И.В.** Термобарогеохимия процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей [Текст] / И.В.Рыбин, В.Н.Труфанов // II научная конференция студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле»: мат-лы конф. - Ростов-на-Дону. - 2016. - С. 97-100.
59. **Рылов, В.Г.** Минералогические признаки поисково-оценочного прогнозирования промышленного колчеданного оруденения в южном Дагестане [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Рылов Виктор Григорьевич. – Москва, 1978. - 22с.
60. **Рылов, В.Г.** Термобарогеохимические условия формирования колчеданных руд месторождения Кизил-Дере (Северный Кавказ) [Текст] / В.Г.Рылов, В.Н.Труфанов // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: мат-лы конф. – Грозный: РФФИ, - 2011. - С.196-203.
61. **Самойлович, Л.А.** Зависимости между давлением, температурой и плотностью водно-солевых растворов [Текст] / Л.А.Самойлович. – Москва: Мингео СССР, 1969. - 48 с.
62. **Сианисян, Э.С.** В преддверии нового этапа развития термобарогеохимии [Текст] / Э.С.Сианисян, В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Геология и разведка. - 1990. - №3. - С.180-184.
63. **Сианисян, Э.С.** Применение метода изучения включений в породах и минералах водоносных комплексов для палеогидрогеохимических реконструкций [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Сианисян Эдуард Саркисович. – Москва, 1977. - 25с.

64. **Сианисян, Э.С.** Температура и стадийность вторичного минералообразования в межслоевых и подслоевых девонских отложениях Припятского прогиба по данным декрипационного анализа [Текст] / Э.С.Сианисян, А.А.Махнач // Доклады АН СССР. - 1980. - №4. Т. XXIV. - С.381-384.
65. **Сианисян, Э.С.** Термобарогеохимия и палеогидрогеотермия нефтегазовых отложений [Текст]: автореф. дис. докт. геол.- мин. наук. / Сианисян Эдуард Саркисович. – Москва, 1994. - 61с.
66. **Сианисян, Э.С.** Термобарогеохимия подземных вод зоны катагенеза [Текст] / Э.С.Сианисян // Роль подземной гидросферы в истории Земли: тезисы докладов Всесоюзного семинара. – Ленинград, 1989. - С.34-35.
67. **Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов** [Текст]: - Санкт-Петербург: Недра, 1998.
68. **Скляренко, Г.Ю.** Титан-циркониевые россыпи в отложениях полтавской серии миоцена Юго-Восточного склона Воронежской антеклизы [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Скляренко Григорий Юрьевич. - Ростов-на-Дону, 2010. - 22с.
69. **Славгородский, Н.И.** Термобарогеохимические исследования углей Центрального и Восточного Донбасса в связи с их выбросоопасностью [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Славгородский Николай Иванович. - Ростов-на-Дону, 1995. - 25с.
70. **Смирнов, В.И.** Геология полезных ископаемых [Текст] / В.И.Смирнов. – Москва: Недра, 1969. - 688с.
71. **Стариков, В.В.** Комплексное освоение георесурсов угленосных отложений [Текст]: монография / В.В.Стариков, В.В.Гурьянов, В.Н.Труфанов, М.И.Гамов. - Ростов-на-Дону: ИРУ, 2001. - 98с.
72. **Требование к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов.** Москва, ГКЗ МПР. 2000.
73. **Труфанов, А.В.** Первичная природа, термобарогеохимические условия формирования и рудоносность докембрийских метаморфитов Центрального Кавказа [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. / Труфанов Алексей Вячеславич. - Ростов-на-Дону, 2002. - 26с.
74. **Труфанов, В.Н.** Автоматический декриптомметр для определения температур растрескивания включений [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.Г.Родзянко // Бюллетень ОНТИ ВИЭМС. - 1963. - №1/45. - С.81-84.
75. **Труфанов, В.Н.** Актуальные проблемы развития минерально-сырьевой базы Ростовской области на основе критических геотехнологий [Текст] / В.Н.Труфанов // Сб.

«Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа». – Новочеркасск, 1999. - С.11-15.

76. **Труфанов, В.Н.** Геотехнологические аспекты комплексного использования минерального сырья Гитчетырнаузского месторождения [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа: мат-лы конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2002. - С.101-112.
77. **Труфанов, В.Н.** Геохимические критерии выявления редкометального оруденения грейзенового типа на глубоких горизонтах Тырнаузского месторождения [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: мат-лы IV Всесоюзного совещания. – Ужгород, 1988.
78. **Труфанов, В.Н.** Гетерогенные рудообразующие флюидные системы Тырнауза [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Ю.А.Сафаров // Минералообразование из кипящих растворов: мат-лы IV сессии СКО ВМО. - Терскол, 1988. - С.37.
79. **Труфанов, В.Н.** Гидротермальный литогенез и его влияние на распределение залежей углеводородов [Текст] / В.Н.Труфанов, А.И.Сухарев, М.И.Гамов, А.В.Труфанов // Осадочные формации Юга России и связанные с ними полезные ископаемые: мат-лы Всероссийской научной конференции. - Ростов-на-Дону, 2010. - С.21-27.
80. **Труфанов, В.Н.** Декрипационная активность кварцевого сырья [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, З.В.Майская // Всесоюзное совещание по термобарогеохимии: мат-лы совещания. - Уфа, 1976. - С.148-149.
81. **Труфанов, В.Н.** Дистанционная электромагнитная поляризация – новый метод исследования минералов, пород и руд [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, А.В.Труфанов, Д.В.Лысенко, С.С.Селезнев // Мат-лы международной научной конф. - Новочеркасск, 1997.
82. **Труфанов, В.Н.** Закономерности распределения элементов-примесей в выбросопасных зонах угольных пластов [Текст] / В.Н.Труфанов, А.Ф.Лосева, В.Н.Усачёва, Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1993. - 48с.
83. **Труфанов, В.Н.** Закономерности формирования и генетические типы метанообильных зон в метаноугольных месторождениях [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, В.Г.Рылов, Ю.Г.Майский // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва: МГГУ, - 2004. - №9.
84. **Труфанов, В.Н.** Исследование процессов дегазации ископаемых углей в условиях «обратного» взрыва [Текст] / В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2008. - №1. - С.108-114.

85. **Труфанов, В.Н.** Исследования газовой-жидких включений хрусталеносных силекситов [Текст] / В.Н.Труфанов // Мат-лы научной студенческой конф. - Ростов-на-Дону: РГУ, - 1959.
86. **Труфанов, В.Н.** К термодинамике углеродсодержащих включений в минералах стратиформных рудопроявлений Центрального Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов, А.Г.Грановский // Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования: мат-лы конф. – Киев: Наукова Думка, 1975. - С.107-115.
87. **Труфанов, В.Н.** Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса - высокодисперсные руды цветных, редких и благородных металлов [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, М.И.Гамов, А.В.Труфанов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2014. - №6. - С. 60-67.
88. **Труфанов, В.Н.** Кварц-углеродистые метасоматиты угольно-породных массивов Восточного Донбасса как нетрадиционный вид минерального сырья [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, М.И.Гамов, А.В.Труфанов // XIII Всероссийское угольное совещание «Основные направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ на твёрдые горючие ископаемые в современных экономических условиях»: мат-лы конф. - Ростов-на-Дону. 2014. - С. 154-156.
89. **Труфанов, В.Н.** Конечно-элементное моделирование процесса гидродинамического расчленения многослойного угольного пласта [Текст] / В.Н.Труфанов, А.А.Наседкина // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2006. - №1.
90. **Труфанов, В.Н.** Кремнещелочной метасоматоз – основной фактор формирования вольфрамового оруденения Центрального Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // Геохимия магматических пород: мат-лы Всесоюзного семинара. – Москва, 1987.
91. **Труфанов, В.Н.** Метастабильные состояния и эффекты релаксации в рудообразующих флюидах [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, С.А.Куршев, А.Т.Ушак // Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых: мат-лы конф. – Ташкент: ФАН, 1975. - С.92-98.
92. **Труфанов, В.Н.** Методика выявления и картирования энергетических аномалий в геосистемах локального уровня [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // Сб. «Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа». – Новочеркасск, 1999. - С.15-20.
93. **Труфанов, В.Н.** Минералогические критерии оценки редкометального и полиметаллического оруденения Северного Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов,

- А.Г.Грановский, Н.В.Грановская, С.А.Куршев, Н.С.Прокопов // Минералогический журнал. - 1981. - №1. - С.29-37.
94. **Труфанов, В.Н.** Минералогия и термодинамика хрусталеносных полостей гранитных пегматитов [Текст] / В.Н.Труфанов. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1969. - 172с.
95. **Труфанов, В.Н.** Минералого-генетические особенности хрусталеносных пегматитов Акжайляу (Казахстан) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Труфанов Вячеслав Николаевич. - Ростов-на-Дону, 1964. - 26с.
96. **Труфанов, В.Н.** Минералого-геохимические и термобарогеохимические особенности полиметаллического оруденения Чечено-Ингушетии [Текст] / В.Н.Труфанов, Х.И.Арсамаков, Г.А.Кобилев, А.Г.Грановский // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1979. - №1. - С.79-84.
97. **Труфанов, В.Н.** Минералообразующие флюиды рудных месторождений Большого Кавказа [Текст]: монография / В.Н.Труфанов. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1979. - 272с.
98. **Труфанов, В.Н.** Минералообразующие флюиды рудных месторождений Северного Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1975. - №1. - С.47-52.
99. **Труфанов, В.Н.** Моделирование депрессионно-вакуумного механизма кристаллизации минералов [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, Н.С.Прокопов, А.Т.Ушак, В.К.Чихиркин // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1974. - № 1. – С.10-17.
100. **Труфанов, В.Н.** Моделирование процессов деструкции систем «уголь-газ» в связи с решением проблемы угольного метана [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, В.Г.Рылов, А.В. Труфанов // Научная мысль Кавказа. - 2000. Приложение 1. - С.50-55.
101. **Труфанов, В.Н.** Молекулярная геология – новое направление в системе наук о Земле [Текст] / В.Н. Труфанов // Научная мысль Кавказа. - 1995. - №1. - С.46-51.
102. **Труфанов, В.Н.** Молекулярная термобарогеохимия – новое направление в системе наук о Земле [Текст] // Новые идеи в системе наук о Земле: мат-лы международной конф. 1999.
103. **Труфанов, В.Н.** Молекулярная термобарогеохимия нанодисперсных углеродных соединений [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // Углерод: Минералогия, геохимия и космохимия: мат-лы международной конф. - Сыктывкар, 2003.
104. **Труфанов, В.Н.** Молекулярная термобарогеохимия рудообразующих флюидных систем [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов // XI Международная конференция по термобарогеохимии: мат-лы конф. – Александров: ВНИИСИМС, 2003.

105. **Труфанов, В.Н.** Молекулярная, надмолекулярная и кристаллическая формы существования природных систем «минерал-флюид» [Текст] / В.Н.Труфанов // IX Международная конференция по термобарогеохимии: мат-лы конф. – Александров: ВНИИСИМС, 1999.
106. **Труфанов, В.Н.** Молекулярно-энергетическая концепция выбросоопасности ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.Ф.Лосев // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1994. - Спецвыпуск. - С.77-82.
107. **Труфанов, В.Н.** Научные основы генетической информативности природных систем «минерал-флюид» [Текст] / В.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, А.Т.Ушак // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1987. - №3. - С.107-115.
108. **Труфанов, В.Н.** Новые данные по энергетическому анализу природных систем «минерал-порода-флюид» методами вакуумной декриптометрии [Текст] / В.Н.Труфанов, Р.А.Цицуашвили, А.В.Труфанов, И.В.Рыбин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013г. - №1.
109. **Труфанов, В.Н.** О перспективах освоения новых и нетрадиционных видов минерального сырья Юга России [Текст] / В.Н.Труфанов, Ф.В.Мещанинов, А.В.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1998. - С.95-98.
110. **Труфанов, В.Н.** О природе эффектов газовыделения при фазовых превращениях минералов кремнезема и их значении в процессах рудообразования [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013. - №4. - С. 73-80.
111. **Труфанов, В.Н.** Определение температурного режима и последовательности минералообразования методом декриптации [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.Г.Родзянко // Записки Всесоюзного минералогического общества. - 1964. - №10. - С.708-713.
112. **Труфанов, В.Н.** Опыт изучения газовой-жидких включений под электронным микроскопом [Текст] / В.Н.Труфанов, С.А.Куршев // Минералогическая термометрия и барометрия. – Москва: Наука, 1964. - С.111-117.
113. **Труфанов, В.Н.** Основные итоги и перспективы развития молекулярной термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Н.С.Прокопов, Ю.Г.Майский, А.В.Труфанов, И.В.Рыбин // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2012. - № 4. – С.85-92.

114. **Труфанов, В.Н.** Основные итоги и перспективы развития работ по проблеме угольного метана Восточного Донбасса [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В.Труфанов // Разведка и охрана недр. - 2006. - №11. - С.67-72.
115. **Труфанов, В.Н.** Основные результаты и перспективы развития работ по проблеме угольного метана Восточного Донбасса [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Ю.Г.Майский, В.Г.Рылов, А.В.Труфанов, Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР» РГУ, 2005.
116. **Труфанов, В.Н.** Основы прикладной термобарогеохимии [Текст]: учебник для вузов / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Л.К.Дудкевич, Ю.Г.Майский, А.В.Труфанов. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008. - 280с.
117. **Труфанов, В.Н.** Особенности формирования и термобарогеохимические критерии прогнозирования выбросоопасных зон в угольных пластах [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.Ф.Лосев, М.И.Гамов, В.Г.Рылов, Н.И.Славгородский, - Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 1993. - 30с.
118. **Труфанов, В.Н.** Перспективы развития минерально-сырьевой базы металлических полезных ископаемых на Юге России [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Ю.Г. Майский и др. // Руды и металлы. - 2001. - С.19-25.
119. **Труфанов, В.Н.** Перспективы технологического использования процессов разложения минералов в условиях высоких перепадов температур и давлений [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, С.А.Куршев, А.Т.Ушак // Технологическая минералогия: мат-лы конф. – Ленинград: Наука, 1987.
120. **Труфанов, В.Н.** Пирометаморфогенная трансформация шахтных углеотходов в горящих терриконах Восточного Донбасса [Текст] / В.Н.Труфанов, В.Г.Рылов, Ф.В.Мещанинов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2006. - №1. - С.88-94.
121. **Труфанов, В.Н.** Полиметаллическое оруденение в метаморфических комплексах Центрального Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов, А.Г.Грановский, Л.Н.Невский, К.В.Давыдов, С.М.Тибилев, Ц.Х.Бритаев // Советская геология. - 1983. - №12. - С.45-54.
122. **Труфанов, В.Н.** Ресинтез эшинита в гидротермальных условиях [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В. Голиков-Заволженский // Геохимия. - 1970. - №10. - С.31-35
123. **Труфанов, В.Н.** Родингиты Даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ) [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.В.Попов, Р.А.Цицуашвили, А.В.Труфанов, А.Б.Гончаров // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2011. - №5. - С.73-77.

124. **Труфанов, В.Н.** Роль вакуума в процессах эндогенного рудообразования [Текст] / В.Н.Труфанов // Научная мысль Кавказа, - Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ. - 1999. - №4. - С.56-62.
125. **Труфанов, В.Н.** Роль процессов углеводородной флюидизации в формировании метаноугольных месторождений [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И. Гамов, И.В. Рыбин, А.В. Труфанов // Всероссийская конференция с международным участием «Нетрадиционные ресурсы углеводородов: Распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения»: мат-лы конф. – Москва: ГЕОС, 2013. - С. 273-276.
126. **Труфанов, В.Н.** Рост кристаллов при высоких перепадах температур и давлений [Текст] / В.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, А.Т.Ушак // Мат-лы международного симпозиума - Болгария, Варна: ММА, 1986
127. **Труфанов, В.Н.** Структурные трансформации соединений углерода в зонах флюидизации ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, Ю.Г.Майский, М.И.Гамов // Углерод: Минералогия, геохимия и космохимия: мат-лы международной конф. - Сыктывкар, 2003.
128. **Труфанов, В.Н.** Субмаринные сульфидные постройки медноколчеданного месторождения Кизил-Дере [Текст] / В.Н.Труфанов, И.А.Богущ, М.М.Курбанов, В.Г.Рылов // Отечественная геология. - 2007. - №2. - С.61-67.
129. **Труфанов, В.Н.** Температурный режим и зональность рудообразования полигенных колчеданных залежей (Северный Кавказ) [Текст] / В.Н.Труфанов, И.А.Богущ // Геология рудных месторождений. - 1983. - №4. - С.71-79.
130. **Труфанов, В.Н.** Теоретические и методические основы исследований фазовых переходов и процессов деструкции в системах «минерал-порода-флюид» [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, Н.С.Прокопов, Ю.Г.Майский, А.В.Труфанов, И.В.Рыбин Р.А.Цицуашвили // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2012. - № 4. - С. 102-107.
131. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимическая модель горящего терриконика [Текст] / В.Н.Труфанов, А.В.Труфанов, И.В.Рыбин // Учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2015. - 20с
132. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические аспекты молекулярной геологии [Текст] / В.Н.Труфанов // Сб. Термобарогеохимия геологических процессов. – Москва, 1992.
133. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические и минерагенетические особенности геофлюидных систем Юга России [Текст] / В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2009. - №1. - С.126-130.

134. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические критерии выбросоопасности угольных пластов [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, В.Г.Рылов // Термобарогеохимия геологических процессов. Москва, 1992.
135. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические условия трансформации пород неокома Большехетской синеклизы (Западная Сибирь) [Текст] / В.Н.Труфанов, А.И.Сухарев, А.В.Труфанов, Ю.Г.Майский // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2012. - №1. - С.53-57.
136. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические условия формирования и рудоносность докембрийских метаморфитов Центрального Кавказа [Текст] / В.Н.Труфанов, А.В.Труфанов // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа: мат-лы конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2002. - С.59-64.
137. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимические условия формирования рудных месторождений Большого Кавказа [Текст]: автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. / Труфанов Вячеслав Николаевич. – Тбилиси, 1983. - 49с.
138. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимия процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, А.В.Труфанов, М.И.Гамов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013г. - №2. - С.75-81.
139. **Труфанов, В.Н.** Термобарогеохимия фазовых переходов и процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, А.В.Труфанов, Ю.Г.Майский, И.В.Рыбин // XV Всероссийская конференция по термобарогеохимии: мат-лы конф. – Москва: ИГЕМ РАН, 2012. – С. 152-153.
140. **Труфанов, В.Н.** Термодинамические барьеры формирования глубинных минералообразующих флюидов [Текст] / В.Н. Труфанов // Термобарогеохимия минералообразования: мат-лы конф. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1976. - С.13-29.
141. **Труфанов, В.Н.** Углеводородная флюидизация ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.И.Славгородский, С.Н.Труфанов // Обзор ВИЭМС. - 1991. - Вып. 6. - С.3-17
142. **Труфанов, В.Н.** Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса [Текст]: монография / В.Н.Труфанов, М.И.Гамов, В.Г.Рылов, Ю.Г.Майский, А.В.Труфанов. - Ростов-на-Дону: РГУ, 2004. - 272с.
143. **Труфанов, В.Н.** Физико-химические особенности воды и водно-солевых растворов в условиях «обратного» взрыва [Текст] / В.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, Н.С.Прокопов, Н.А.Тимченко // Флюидный режим земной коры и верхней мантии. - Иркутск, 1977. - С.101-105.

144. **Труфанов, В.Н.** Флюидный режим формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса [Текст] / В.Н.Труфанов, И.В.Рыбин, М.И.Гамов, А.В.Труфанов // XVI Всероссийская конференция по термобарогеохимии: мат-лы конф. – Иркутск: ИГХ СО РАН, 2014. – С.64-65.
145. **Труфанов, В.Н.** Экспериментальное моделирование процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей [Текст] / В.Н.Труфанов, Н.И.Славгородский, С.Н.Труфанов // 8 Всесоюзное угольное совещание: мат-лы конф. - Ростов-на-Дону, 1986
146. **Труфанов, В.Н.** Энергетический анализ природных систем «минерал-флюид» методами термобарогеохимии [Текст] / В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 1990. - №1. - С.3-11.
147. **Труфанов, В.Н.** Эффект дросселирования в гидротермальных системах и процессы рудообразования [Текст] / В.Н.Труфанов, С.А.Куршев, Ю.Г.Майский, Н.С.Прокопов, С.Н.Труфанов // Симпозиум МАГРМ: мат-лы конф. - Тбилиси, 1982. - С.51-52.
148. **Тяпкин, К.Ф.** Системы разломов Украинского щита [Текст] / К.Ф.Тяпкин, В.Н.Гонтаренко. - Киев: Наукова Думка, 1990. - 272с.
149. **Угольная база России** [Текст]. Т.1: Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский, Печорский бассейны, Урал) [Текст]. - Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. - 483с.
150. **Ушак, А.Т.** Типоморфные особенности и термодинамические условия формирования минералов ртутных месторождений Северного Кавказа [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1971. - 24с.
151. **Ферсман, А.Е.** Избранные труды [Текст] / А.Е.Ферсман. – Москва: АН СССР, 1960. - Т.5. - 560 с.
152. **Фролов, В.Т.** Литология [Текст]: учебное пособие / В.Т.Фролов; – Москва: МГУ, 1992. - Кн. 1.; - 336с.
153. **Хрусталева, Г.К.** Петрогенез и рудоносность девонского осадочно-вулканогенного комплекса пород междуречья Даут-Кубань [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1965. - 24с.
154. **Четвертое региональное совещание по термобарогеохимии минералообразования** [Текст]: сб. тезисов докладов. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1973. - 356с.
155. **Чихиркин, А.А.** Состав природных газов угленосных толщ Северной зоны мелкой складчатости Восточного Донбасса [Текст] / А.А.Чихиркин, В.Н.Труфанов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2005. - №1. - С.88-92.

156. **Шамрай, И.А.** Минералогия и термодинамика ртутных рудопроявлений Северного Кавказа [Текст] / И.А.Шамрай, А.В.Нетреба, В.Н.Труфанов, В.Б.Хомяков, М.Г.Шишкунов, А.Т.Ушак. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1972. - 168с.
157. **Шарова, Т.В.** Геолого-структурные особенности и термобарогеохимические условия образования золоторудного месторождения им. Пинигина (Центральный Алдан) [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. / Шарова Татьяна Викторовна. - Ростов-на-Дону: РГУ, 2008. - 23с.
158. **Шугурова, Н.А.** Химические обоснования метода газового анализа индивидуальных включений в минералах [Текст] / Н.А. Шугурова // Минералогическая термометрия и барометрия: мат-лы конф. – Москва: Наука, 1968. Т.2. -С.18-23.
159. **Шуликовский, А.В.** Геолого-технологическое картирование рудных тел Тырныаузского месторождения [Текст]: автореф. дис. канд. геол.- мин. наук. - Ростов-на-Дону: РГУ, 1993. - 24с.
160. **Angerson, E.** Fluid inclusions in geology thermometry [text] / E.Angerson // Amer.Mineralogist. - 1947. - v.32. -p.7-8.
161. **Harry Stuart Scott.** The decrepitation method applied to minerals [text] / Harry Stuart Scott // Econom.Geol. - 1948. - v.43. –p.8.
162. **Peach, P.A.** A decrepitation geothermometry [text] / P.A.Peach // Amer Minelogist. - 1949. - v.34. -p.5-6.
163. **Reynolds, D. L.** Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites [text] / D. L.Reynolds // Am. four. Sci. 1954. -v.252. -p.577-613.