

На правах рукописи

РЫБИН ИЛЬЯ ВАЛЕРЬЕВИЧ



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

*Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения*

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург - 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Труфанов Вячеслав Николаевич

Официальные оппоненты:

Вялов Владимир Ильич

доктор геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского», отдел геологии горючих полезных ископаемых, главный научный сотрудник

Новикова Валентина Николаевна

кандидат геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», управление контроля качества деятельности университета, ведущий инженер

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук

Защита диссертации состоится 27 сентября 2017 г. в 18 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21 линия, д.2, ауд. №1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 27 июля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КИРЬЯКОВА
Ирина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Кварц-углеродистые метасоматиты – это метасоматические породы, которые сформировались путём преобразования пород угленосной толщи флюидами, приуроченными к зонам нарушений. Наличие таких зон осложняет ведение горнодобывающих работ, ведет к внезапным выбросам метана, взрывам, подземным пожарам, к человеческим жертвам. Изучение измененных в зонах разломов и трещиноватости пластов углей и вмещающих пород, условий их преобразования в процессе геологической истории, чрезвычайно актуально. Поскольку данные метасоматиты в значительных количествах складываются в терриконах и часто обогащены макро+микроэлементами, то вопросы их комплексного использования приобретают значительную актуальность.

Степень разработанности темы.

Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса 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.

Цель исследований состоит в установлении условий образования кварц-углеродистых метасоматитов в угольных месторождениях Восточного Донбасса и перспектив их комплексного использования.

Основные задачи исследований:

1. Установление геолого-структурных и термобарогеохимических условий образования кварц-углеродистых метасоматитов в зонах флюидизации угленосных 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.

Методология и методика исследований. В основу работы положен большой полевой и экспериментальный материал, полученный авто-

ром 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 по Тацинскому, Краснодонскому и Сулино-Садкинскому районам Восточного Донбасса. 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 термобаро-геохимические методы анализа минерального сырья, а также проведение опытов по моделированию процессов трансформации кварц-углеродистых метасоматитов в термобароградиентных условиях «обратного» взрыва. Анализы выполнялись автором на научном оборудовании в сертифицированных лабораториях центра коллективного пользования «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» геолого-географического факультета, а также в РЛЦ ПГО «Южгеология» и ВСЕГЕИ. Автором также собран, изучен и обработан 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 540⁰С до 40⁰С и давлениях 200-5 МПа.
2. На основании минералого-петрографических исследований в угленосной толще Восточного Донбасса выделены четыре основные группы кварц-углеродистых метасоматитов: псевдолидиты, псевдофтаниты, квар-

цевые гидротермалиты и псевдокварцолиты, возможно даже потенциально рудоносные.

3. Кварц-углеродистые метасоматиты представляют собой минеральное сырье 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.

Научная новизна выполненных исследований. Автором впервые для Восточного Донбасса:

- установлено, что в зонах нарушений и трещиноватости угленосных толщ Восточного Донбасса в результате флюидизации углепородных массивов образывались, при температурах от 540⁰С до 40⁰С и давлениях в пределах 200-5МПа, под воздействием на угли и углеводородные 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 – аргил-

литы, 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. Установлены поисковые критерии выявления метасоматитов 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 (Патент на изобретение №2542202, Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья / Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рыбин И.В., Рылов В.Г. 20.01.2015).

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); 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. Получен патент на изобретение.

Личный вклад соискателя. 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 определены 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 угленосных 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 термобарогradientных 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 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 Т.В. Шаровой и Н.И. Перепечасовой 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.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение. *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 540⁰С до 40⁰С и давлениях 200-5 МПа.*

В качестве объектов исследований для изучения геологоструктурных особенностей формирования кварц-углеродистых метасоматитов в угольных месторождениях выступают Сулино-Садкинский, Краснодонецкий и Тащинский геолого-промышленные районы Восточного Донбасса.

В геологическом строении *Сулино-Садкинского района* (рисунок 1) 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.

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. 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 250-700 м.

Угли – антрациты, технологических групп 2А – 3А.

В геологическом строении **Краснодонецкого района** (рисунок 2) принимают участие свиты $C_2^4 - C_2^7$ среднего отдела и свита C_3^1 верхнего отдела карбона, а также породы палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов. Карбоновые отложения свит $C_2^4 - C_2^7$ среднего отдела и свиты C_3^1 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_2^5 встречены псевдокварцолиты.

Основные тектонические элементы района - Краснодонецкая синклиналь и сопредельные с ней Екатерининская и Северная антиклинали. В восточной половине района северное крыло синклинали разрывается Краснодонецким надвигом, имеющим южное падение под углом 70-80°. Смещение слоев по нормали достигает 70-100 м, поднято южное крыло. Мощность угольных пластов изменяется от 0,61 до 1,86 м.

Угли – антрациты, технологических групп 1А – 3А.

Тацинский углепромышленный район (рисунок 3) 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.

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 370 м.

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. 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. Угли Тацинского района – от антрацитов до каменных марок Т-ОС и др. (Угольная база России. Т.1, 2000).

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. Возможна даже потенциальная рудоносность кварц-углеродистых метасоматитов, которая может образовываться в результате сочетания 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 вмещающих пород.

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: псевдолидиды, псевдофтаниты, псевдокварцолиты и кварцевые гидротермалиты, часто потенциально рудоносные вследствие повышенного содержания в них ряда микроэлементов.

Породы осадочного генезиса угольных месторождений в процессе своего геологического развития претерпевали существенные изменения не только под воздействием регионального метаморфизма, но и в результате наложенных процессов углеводородной флюидизации. Признаками и результатами разнообразных преобразований выступили термобарогеохимические признаки, к которым можно отнести формы, размеры, составы и количества флюидных включений, температуры их гомогенизации и декриптации, значения F-показателей флюидоактивности, конфигурация декриптограмм, результаты газовой хроматографических анализов.

В изученных пробах обнаружен богатый спектр флюидных включений, характеризующих весьма сложную историю и механизм формирования кварц-углеродистых метасоматитов угольных месторождений Восточного Донбасса.

В псевдокварцолитах обнаружены уникальные первичные кристаллогазовые включения, формирующиеся из расплавов-растворов, существенно-газовые первично-вторичные флюидные включения, образовавшиеся в зонах усадки при фазовых превращениях минералов кремнезема, а также газовой-жидкие и вторичные включения, локализующиеся в тектонических трещинах из гидротермальных углеводородно-водных флюидов. Форма включений неправильно-изометричная, размеры – от 5-10 до 20-30 микрон. Гомогенизация включений (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Дудкевич Л.К. и др. 2008) происходит при температуре 350-520⁰С.

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 включения – реликты углеводородно-водных гидротермальных флюидов. Большинство первичных и первично-вторичных включений имеют форму негативных кристаллов, размеры их не превышают 5-10 мкм, что практически исключает возможность их исследований методом гомогенизации.

Таким образом, по результатам оптико-микроскопических исследований флюидной фазы можно сделать следующие выводы:

1. В изученных пробах псевдокварцолитов и кварцевых гидротермалитов имеется богатый спектр флюидных включений, характеризующих весьма сложную историю и механизм формирования кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса,

2. По совокупности полученных данных можно заключить, что формирование изученных кварц-углеродистых метасоматитов происходило

в широком диапазоне термодинамических параметров из высокоминерализованных рассолов, надкритических флюидов и гидротермальных углеводородно-водных растворов.

Согласно разработанной методике термобарогеохимических (ТБХ) исследований (Труфанов В.Н., Гамов М.И., Дудкевич Л.К. и др. 2008), все рудоносные 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 было установлено, что метасоматиты образовались при разных температурах и давлениях. Псевдофтаниты образовались при температурах 540-380⁰С и давлениях 120-80 МПа. В составе флюидов среди газов N₂ (98,2%), CO₂ (1,4%), CH₄ (0,4%). Псевдокварцолиты образовались преимущественно при температурах 520-360⁰С и давлениях 200-150 МПа. В составе флюидов среди газов присутствовали N₂ (80,9%), H₂O (14,3%), CO₂ (4,8%). Кварцевые гидротермалиты сформировались при температурах 460 - 280⁰С и давлениях 70-50 МПа. В составе газов преобладали N₂ (64,9%), CO₂ (31,3%), H₂O (3,7%) и при ограниченном содержании CH₄ (0,1%). Псевдолидиты сформировались при температурах 120 - 40⁰С и давлениях 6-5 МПа, в составе флюидов среди газов присутствовали N₂ (91,4%), H₂O (7,1%), CH₄ (0,6%), C₂H₂ (0,6%), CO₂ (0,3%). 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 декрипаций также на 30-50⁰С выше температур гомогенизации, то есть наиболее близки к истинным температурам минералообразования.

Стоит отметить, что при каждом новом прогреве одной и той же пробы происходит декрипация включений. 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., Рыбин И.В., Труфанов А.В., 2013).

Еще более контрастные различия в результатах вакуумной декриптометрии проб выявляются по коэффициентам флюидоактивности F, которые являются энергетическими показателями, отображающими мощность эффекта газовыделения. 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.

Таким образом, рудоносные кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса – псевдокварцолиты, кварцевые гидротермалиты, псевдофтаниты и псевдолидиты образуют генетический ряд продуктов метасоматической переработки углевмещающих пород.

Второе защищаемое положение. На основании минералогическо-петрографических исследований в угленосной толще Восточного Донбасса выделены четыре основные группы кварц-углеродистых метасоматитов: псевдолидиты, псевдофтаниты, кварцевые гидротермалиты и псевдокварцолиты, возможно даже потенциально рудоносные.

Рассмотренный полевой, лабораторный и экспериментальный фактический материал однозначно показывает, что процессы углеводородной флюидизации ископаемых углей и вмещающих пород обусловлены ширококомасштабным транспортом глубинных флюидов в угленосные бассейны авлакогенного типа. Эти процессы приводят к формированию высокогазонасыщенных метанолуговых месторождений с развитой системой кварц-углеродистых метасоматитов, часто потенциально рудоносных из-за высоких содержаний в них микроэлементов.

Эти специфические рудоносные кварц-углеродистые метасоматиты локализируются в различных типах флюидоактивных зон.

Под воздействием преимущественно восстановленных флюидов на алевролиты сформировались наиболее сложные по составу кварц-гидрослюдисто-углеродисто-сульфидные метасоматиты – псевдофтаниты. Порода имеет гипидиоморфнозернистую структуру и состоит из преобладающих корродированных зерен кварца размером 200х300 мкм и более редких прослоек и отдельных чешуек бурого и оранжево-красного биотита шириной 40-50 мкм и длиной 200-300 мкм. Органическое вещество представлено редкими линзами макринита с размерами около 50 мкм, чаще всего в ассоциации с рудной минерализацией. Видимые под микроскопом рудные минералы представлены пиритом, который встречается в виде фрамбоидов, диаметром 10-15 мкм, а также узких полос толщиной 10 мкм и протяженностью до 100 мкм.

В породе отчетливо видны признаки гидротермального метасоматоза, выраженные замещением биотита микрозернистым агрегатом гидрослюдов и появлением реакционных каемок вокруг корродированных зерен кварца. В связи с составом, текстурой и структурой порода может быть отнесена ко фтанитам частично, поэтому следует её называть псевдофтанит

(Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998).

При переработке преимущественно кварц-полимиктовых песчаников под влиянием преимущественно кремнезем-азотных флюидов сформировались псевдокварцолиты. Порода четко слоистая, содержит кварц и тонкие прослои мощностью 50-100 мкм органического вещества, представленного инертинитом, которые подчеркивают собой слоистость. 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 50 мкм и кубических кристаллов шириной около 100 мкм. Порода существенно кварцевая, состоит из крупных кварцевых зерен, имеющих волнистое погасание, вытянутых в одном направлении. Зерна перекристаллизованы, толщина зерен 50-100 мкм. Цемент — пористый.

В связи с составом, текстурой и структурой породы может быть отнесена к кварцолитам частично, поэтому следует её называть псевдокварцолит (Петрографический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009).

Локализация типичных кварцевых гидротермалитов представлена в форме кварцевых жил по зонам тектонических нарушений субмеридионального простирания, образованных воздействием сложных по составу флюидов. Помимо преобладающего кварца, в породе встречены отдельные чешуйки слюды высотой около 100 мкм. Полевые шпаты представлены единичными неправильными зернами плагиоклаза размером до 100 мкм, которые часто соседствуют с измененным и перекристаллизованным минеральным веществом. Органическое вещество представлено мацералом группы инертинита — фюзинитом с клеточной структурой хорошей сохранности. В породе отмечаются признаки гидротермального метасоматоза, выраженные замещением полевых шпатов гидрослюдами, образованием вторичного кварца и появлением рудных минералов, представленных пиритом, халькопиритом, галенитом и сфалеритом.

Кварц-халцедоновые псевдолидиды сформировались в зонах расланцевания углевмещающих пород под воздействием восстановленных флюидов на аргиллиты. Порода состоит из мелких эвгедральных и уплощенных зерен кварца и халцедона с размерами от 5-6 до 8x20 мкм, погруженных в органический субстрат. Встречены единичные зерна и двойники ставролита. Структура породы криптокристаллическая, участками бластокластическая, обусловленная, по-видимому, метасоматическим замещением первичного алевропелитового материала кремнезем-органическим субстратом. Органическое вещество имеет здесь как растительное, так и жи-

вотное происхождение. Растительное ОВ представлено измельченными и раздробленными мацералами группы инертинита — семифюзинитом с клеточной структурой плохой сохранности, макринитом и фюзинитом с клеточной структурой плохой сохранности. Клеточные полости зачастую пустые, иногда заполнены глинистым веществом. Животное ОВ представлено спикулами кремневых губок, выполненными кварцем. Рудные минералы представлены, пиритом, который встречается в виде мельчайших фрамбондов диаметром 2-6 мкм. Местами рудная минерализация встречается вместе с органическим веществом, образуя полосы шириной до 40 мкм.

Судя по описанию, составу и структуре, образец может быть отнесен к лидитам частично, поэтому стоит его называть псевдолидит (Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998).

Описанные типы кварц-углеродистых метасоматитов в угольных месторождениях Восточного Донбасса образуют ряд продуктов метасоматической переработки углевмещающих пород, крайними членами которого являются псевдолидиты и псевдокварцолиты, а промежуточное положение занимают псевдофтаниты и кварцевые гидротермалиты.

Третье защищаемое положение. *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.*

Для оценки возможного практического использования кварц-углеродистых метасоматитов проводилась их автоклавная обработка при различных режимах. В соответствии с разработанной методикой по автоклавному моделированию процессов флюидизации и деструкции систем «уголь-порода-флюид» исследования проводились в стационарном режиме, в режиме «обратного» взрыва и в режиме «дросселирование».

При извлечении пробы из автоклава после **стационарного режима** обнаружилось, что практически во всех пробах произошли однотипные изменения, заключающиеся в частичной резорбции зерен минерального субстрата, появлении реакционных каемок, 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 и псевдолидитах, и в большей – псевдокварцолитах и псевдофтанитах.

По результатам термобарогеохимических исследований на вакуумных декриптограммах метасоматитов после автоклавной обработки в стационарном режиме происходит увеличение количества эффектов газовойделений, что связано с появлением новых структурных модификаций кремнезема. Уменьшение интенсивности эффектов газовойделений, особенно в низко-среднетемпературной области обусловлено декриптацией включений, например, в псевдокварцолитах это связано с деструкцией и выделением флюидной фазы. В газовом составе наблюдаются незначительные изменения, проявляющиеся в общем снижении объема газовойделений и уменьшении количества легколетучих газов.

По результатам рентгеноструктурного анализа проб до автоклавного моделирования и после него можно отметить, что в псевдокварцолите при автоклавном моделировании трансформируются модификации кремнезема с β на α . У всех пород снижается интенсивность пиков межплоскостного расстояния в кремнеземе, что свидетельствует о разупрочнении структуры и согласуется с результатами термобарогеохимии. Появляются новые рефлексы, обусловленные образованием низкотемпературных структурных модификаций кремнезема.

В результате автоклавной обработки пробы в стационарном режиме происходит в разной степени снижение общего содержания микро+макроэлементов (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. В порядке убывания суммарного содержания микро+макроэлементов, псевдолидит теряет 8560,9 г/т, псевдокварцолит – 3778 г/т, псевдофтанит – 2519 г/т, кварцевый гидротермалит – 1024 г/т, что свидетельствует об их частичной экстракции.

При извлечении пробы из автоклава после **режима «обратный» взрыв** обнаружилось, что практически во всех пробах произошли однотипные изменения, заключающиеся в интенсивной деструкции зерен минерального субстрата, в образовании сахаровидных и хлопьевидных агрегатов, и появлении реакционных каемок на зернах кварца, а также в разбухании и диспергации органического вещества. Наиболее интенсивно эти процессы проявлены в псевдолидитах и псевдокварцолитах, в меньшей степени – в псевдофтанитах и кварцевых гидротермалитах.

По результатам термобарогеохимических исследований наблюдаются изменения в структуре вакуумных декриптограмм и составе газов,

аналогичные экспериментам в стационарном режиме, но проявленные более интенсивно.

По результатам рентгеноструктурного анализа проб до автоклавного моделирования и после него можно отметить, что у всех пород снижается интенсивность пиков межплоскостного расстояния в кремнеземе, что подтверждает разупрочнение структуры и согласуется с результатами термобарогеохимии. Появляются дополнительные рефлексы, обусловленные образованием новых структурных модификаций кремнезема.

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

При извлечении пробы из переходника после **режима «дросселирование»** 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 псевдолидидитах и псевдофтанитах, в меньшей степени – в псевдокварцолитах и кварцевых гидротермалитах. Также наблюдается диспергация вещества, особенно в псевдокварцолитах, в меньшей степени – в кварцевых гидротермалитах, псевдофтанитах и псевдолидидитах.

После изучения мембран были установлены следующие особенности: 1) Выявлены скопления серебра в виде минеральных обособлений, после обработки кварцевого гидротермалита, 2) Новообразования кристаллов куприта на мембране после автоклавной проработки псевдофтанита, 3) Глобулярно-скелетная структура кремнезем-органического субстрата на мембране после автоклавной проработки псевдофтанита,

По результатам термобарогеохимических исследований проб наблюдаются изменения в структуре вакуумных декриптограмм и составе газов, аналогичные при стационарном режиме и «обратном» взрыве.

По результатам рентгеноструктурного анализа проб можно отметить, что поведение пород аналогично, как и при режиме «обратный» взрыв.

Обобщая результаты приближенно-количественного спектрального анализа, можно сказать, что после автоклавной проработки пробы в режиме «дросселирование» происходит разнообразное изменение содержаний микро+макроэлементов во всех типах метасоматитов относительно исходных пород. В порядке убывания, псевдолидидит теряет 7839,9г/т суммарных

макро+микроэлементов, псевдофанит - 3179г/т, псевдокварцолит – 3478,3г/т; кварцевый гидротермалит, напротив, приобретает элементов больше на 265г/т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена оценка практического использования потенциально рудоносных разностей кварц-углеродистых метасоматитов каждого генетического типа, включающая их применение для получения ценных 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 (Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев. М., Наука, 1987; Требование к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. М., ГКЗ МПР, 2000).

Потенциально-промышленные концентрации микроэлементов: во псевдофанитах - 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 потенциально рудоносных кварц-углеродистых метасоматитов при использовании указанных выше автоклавных методик. На их основе разработана принципиальная технологическая схема глубокой автоклавной переработки минерального сырья (Пат. 2542202 Российская Федерация, Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья / Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рыбин И.В., Рылов В.Г.; - № 2013152720/02; заявл. 27.11.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. №5). Изобретение относится к извлечению цветных, редких и благородных металлов из минерального сырья, например, из углей, отходов их обогащения и сжигания. Техническим результатом является повышение выхода макро+микроэлементов из минерального сырья за счет повышения интенсивности процесса деструкции металлоорганических соединений при обработке углей с разной степенью метаморфизма.

Исследованные метасоматиты, по предварительной оценке, можно использовать в качестве фильтрующих материалов, добавок при производ-

стве кирпичного сырья, пробирного камня, получения сажистого углерода, фоамсила. В качестве **фильтрующих материалов** подходят псевдолидидит и псевдокварцолит. Для **кирпичного сырья** пригодны все метасоматиты в связи с их высокой механической прочностью. В качестве **пробирного камня** следует использовать псевдолидидит и псевдофтанит, как слабометаморфизированные, тонкозернистые, углистые, кремнистые сланцы. Для получения **сажистого углерода** можно использовать материал после автоклавной переработки псевдолидидита и псевдофтанита.

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

Кроме того, определены поисковые критерии выявления углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса: 1 - геолого-структурные (зоны углеводородной флюидизации), 2 - литологические (для псевдолидидитов – 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 - термобаро-геохимические (высокие полимодальные декриптограммы),

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

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Прокопов Н.С., Майский Ю.Г., Труфанов А.В., **Рыбин И.В.** Основные итоги и перспективы развития молекулярной термобарогеохимии и экспериментальной геотехнологии // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2012. - №4. - С.85-92.

2. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Прокопов Н.С., Майский Ю.Г., Труфанов А.В., **Рыбин И.В.**, Цицуашвили Р.А. Теоретические и методические основы исследований фазовых переходов и процессов деформации в системах «минерал-порода-флюид» // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2012. - №4. - С.102-107.

3. Труфанов В.Н., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В., **Рыбин И.В.** Новые данные по энергетическому анализу природных систем «минерал-порода-флюид» методами вакуумной декриптометрии // Известия

высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013. - №1. - С.85-88.

4. Труфанов В.Н., **Рыбин И.В.**, Труфанов А.В., Гамов М.И. Термобарогеохимия процессов углеводородной флюидизации ископаемых углей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013. - №2. - С.75-81.

5. Труфанов В.Н., Гамов М.И., **Рыбин И.В.**, Труфанов А.В. О природе эффектов газовыделения при фазовых превращениях минералов кремнезема и их значении в процессах рудообразования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2013. - №4. - С.73-80.

6. Гамов М.И., Труфанов В.Н., **Рыбин И.В.**, Труфанов А.В. Теоретическое и экспериментальное моделирование процессов деструкции металлоносных систем «уголь-порода-флюид» в термобароградиентных условиях // Руды и металлы. - 2014. - №6. - С.43-51.

7. Труфанов В.Н., **Рыбин И.В.**, Гамов М.И., Труфанов А.В. Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса - высокодисперсные руды цветных, редких и благородных металлов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2014. - №6. - С.60-67.

8. Гамов М.И., Левченко С.В., Рылов В.Г., **Рыбин И.В.**, Труфанов А.В. Закономерности формирования и перспективы комплексного использования металлоносных углей Восточного Донбасса // Геология и геофизика. - 2016. том 57. - №8. - С.1477-1487.

Патент на изобретение

Труфанов А.В., Труфанов В.Н., Гамов М.И., **Рыбин И.В.**, Рылов В.Г. Способ извлечения элементов-примесей из минерального сырья. Пат. 2542202 Российская Федерация. Оpubл. 20.02.2015. - Бюл. №5.

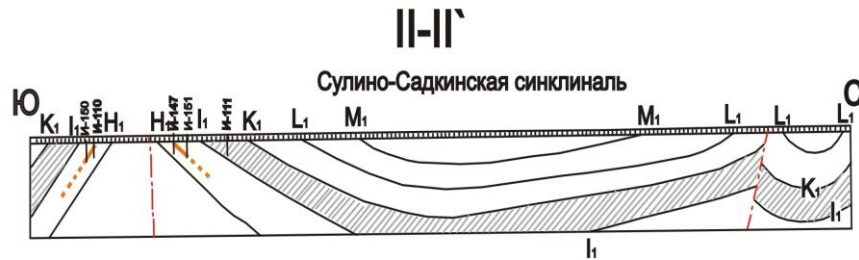


Рисунок 1 - Геологическая карта Сулино-Садкинского угленосного района (Масштаб 1 : 1 000 000)

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



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 добавлением автора)



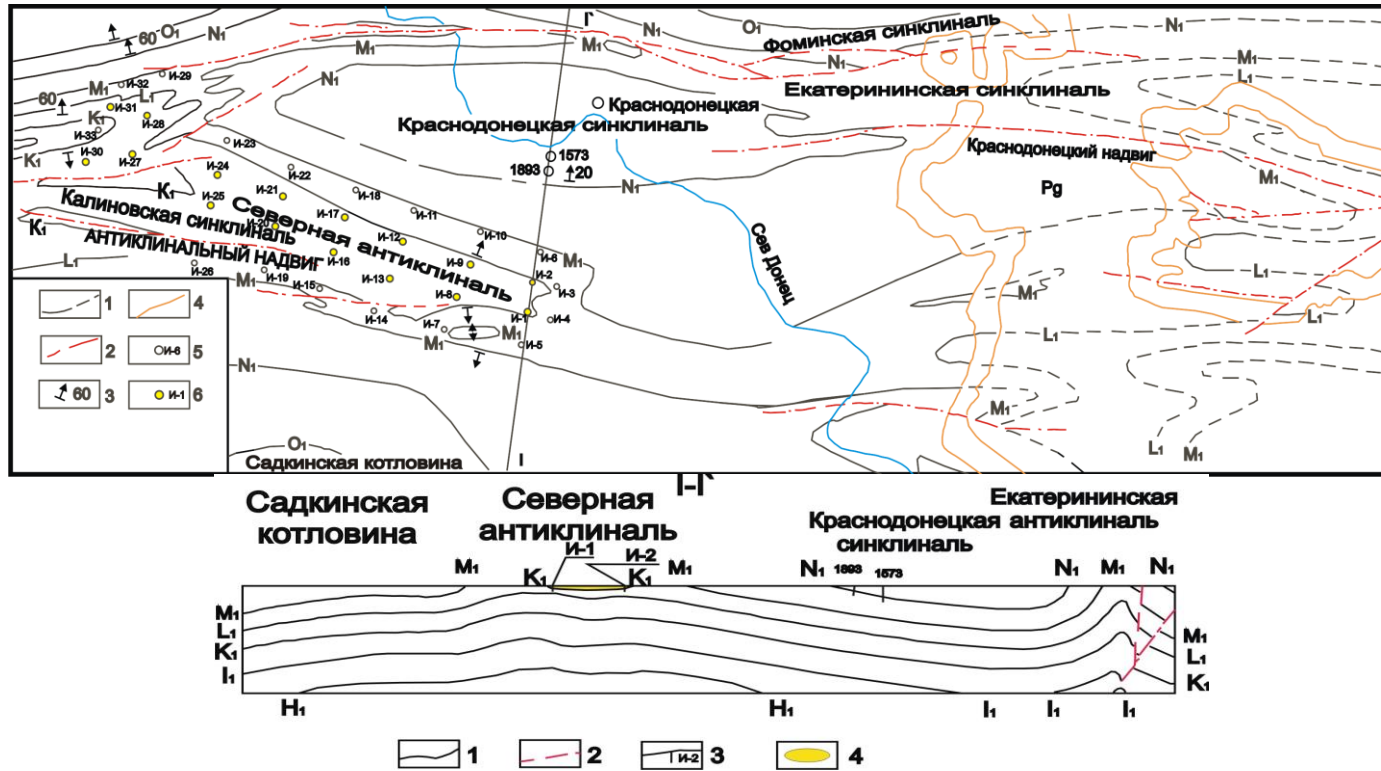


Рисунок 2 - Геологическая карта Краснодо́нецкого угольного района (Масштаб 1 : 1 000 000)

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;

Геологический разрез по линии I—I` (Краснодо́нецкий угольный район) (Масштаб: гор 1 : 500 000; верт 1 : 250 000): 1 — граничные известняки свит карбона; 2 — разрывные нарушения; 3 — буровые скважины; 4 – псевдокварцолиты

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

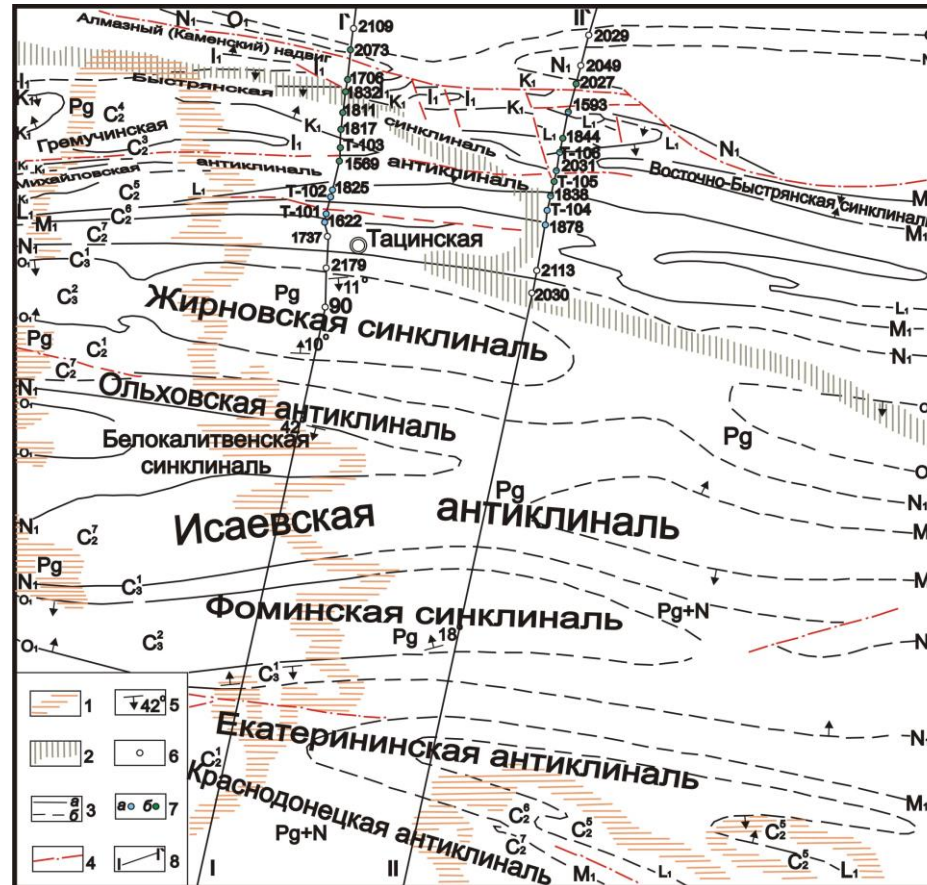
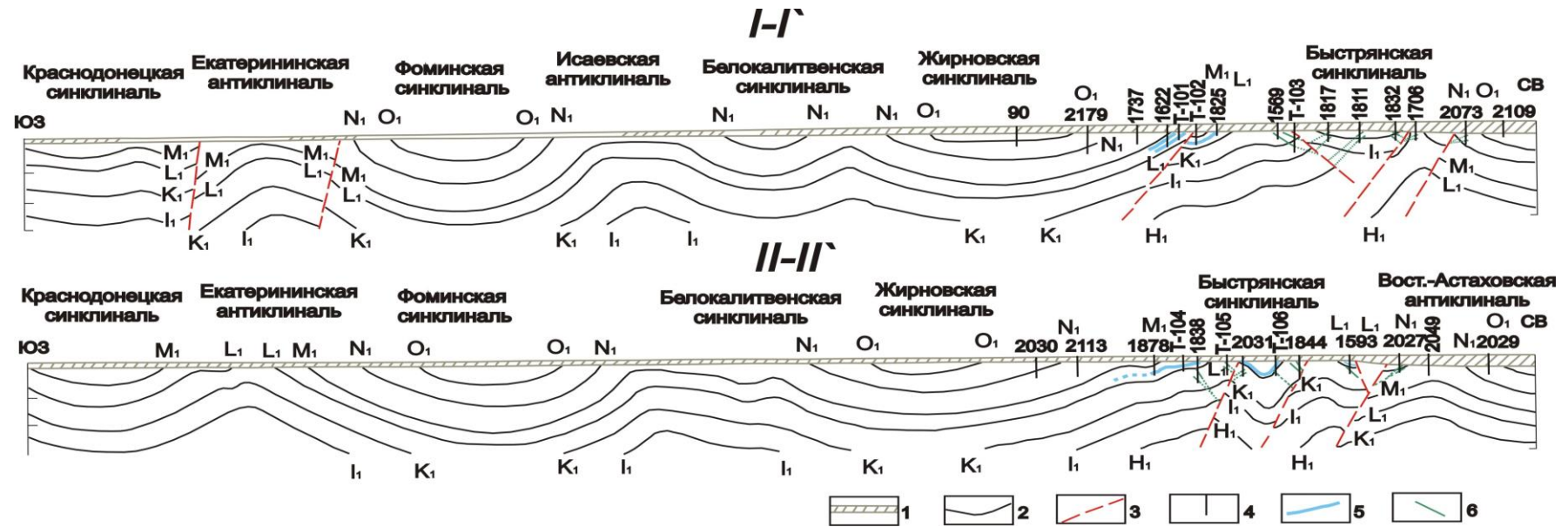


Рисунок 3 - Геологическая карта Тацинского угленосного района (Масштаб 1 : 1 000 000)

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) псевдолитами; б) с кварцевыми гидротермалитами; 8 — линии геологических разрезов.

Продолжение рисунка 3.



Геологические разрезы по линиям I—I` и II—II` (Масштаб: гор. 1 : 500 000; верт. 1 : 250 000) 1 — отложения мезо-кайнозоя; 2 — граничные известняки свит карбона; 3 — разрывные нарушения; 4 — скважины, 5 — псевдолидыты, 6 — кварцевые гидротермалиты

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