Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVII, вып. II, 1952 г.

УСПЕХИ ИЗУЧЕНИЯ МЕТАМОРФИЗМА УГЛЕЙ В СССР за период 1941—1951 гг.

Чл.-корр. АН СССР *Ю. А. Жемчужников*

Введение

Проблема метаморфизма и превращения угольного вещества является очень сложной. В ней заложены вопросы химического преобразования органического вещества в природе, на поверхности недрах земли, вопросы физических изменений угольного вещества разных условиях, вопросы воздействия геологических агентов (температуры, давления, минерализаторов) и ряд других.

Поэтому ученые различных специальностей подходят к этим вопросам несколько по-разному и, исходя из различных предпосылок, нередко приходят к противоположным выводам. При этом за факты выдается иногда то, что является только гипотезой, а незнание фактического материала из соседней области науки приводит иногда к отрицанию всем известных фактов и выводов этой науки по данному вопросу. Вот почему проблема метаморфизма углей и до сих пор остается до конца решенной.

Все эти трудности могли бы быть преодолены, если бы была повлена комплексная работа по этой проблеме, заключающая совместную разработку всех спорных вопросов научными работниками разных специальностей.

Но, помимо этой основной трудности в разрешении проблемы метаморфизма углей, имеется еще ряд других. Приведем главные из них.

Слабая послойная изученность с химической, микробиологической, петрографической сторон современных и ископаемых (четвертичных) торфяников, особенно древесных, с точки зрения определения ания первичного превращения растительного материала в стадии торфенения.

2. Неизученность переходов ископаемых торфов в бурые угли и неразработанность классификации бурых углей по степени их химической зрелости.

3. Отсутствие методически правильно поставленных опытов превращения торфа в бурый уголь и превращения ископаемых углей одной стадии углефикации в другие, более высокие.

4. Недостаточная разработанность вопроса о границах между диагенезом и метаморфизмом органического вещества.

5. Недостаток или отсутствие точных наблюдений, выявляющих действие каждого фактора глубинного метаморфизма углей в отдельности.

6. Отсутствие методической комплексности в характеристике материалов исследований.

Нередко химико-технологические исследования не сопровождаются углепетрографической характеристикой изучаемого материала, а петрографические работы не связываются с химической характеристикой углей, что ведет к неуверенности в выводах относительно первичности или вторичности наблюдаемых изменений.

7 Кажущаяся или действительная противоречивость в некоторых угольных месторождениях Китая (бассейн Шаньси), Англии (бассейн Ю. Уэллс) и Чехословакии (месторождение Хандлова) и в других местах между метаморфизмом углей и геологическими условиями. Она в значительной степени связана или с недостаточной изученностью, или с неправильным пониманием геологического строения, как это будет показано для Ю. Уэллского бассейна.

Однако за последние 10 лет, и особенно после Великой Отечественной войны, в нашей стране появилось много исследований, посвященных метаморфизму как регионально-геологического характера, так и специальных в области углехимии, биохимии, торфохими и т. п.[1].

В этих работах выявлен ряд факторов и закономерностей, освещающих в значительной степени отдельные вопросы, разъяснены бывшие неясности или противоречия, поставлены новые вопросы и т. п.

В общем можно сказать, что за последнее десятилетие (1941—1951 гг.) сравнительно с предыдущим (1930—1940 гг.) литература по метаморфизму углей в СССР заметно возросла и значительно конкретизировалась.

Цель настоящей работы — произвести критический обзор геологической литературы последнего десятилетия и отразить успехи изучения метаморфизма углей в свете теоретических и практических задач угольной геологии[2].

I. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С 1941 по 1951 г. работы по метаморфизму углей в нашей стране велись в Кузнецком и Донецком бассейнах, на Урале и в Средней Азии. Большинство вышедших работ касается Кузнецкого бассейна.

1. Кузнецкий бассейн

Литературу по метаморфизму углей Кузбасса можно разделить на две группы. В одну из них входит детальный разбор этого явления в одном из наиболее изученных районов Кузнецкого бассейна — Прокопьевско-Киселевском и др. Ко второй группе следует причислить статьи и монографии, посвященные бассейну в целом.

Рассмотрим отдельно каждую группу работ в хронологическом порядке, начиная с частных.

Прокопьевско-Киселевский район

В 1941 г. вышла интересная работа И. И. Аммосова «О метаморфизме углей Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса».

В данной статье разбираются только советские работы и только в геологическом аспекте.

[2] Мы не рассматриваем здесь обширной и обстоятельной работы геолога-нефтяника проф. В. Б. Порфирьева, специально посвященной метаморфизму углей с точки зрения физико-химической и структурной, так как это выходит за пределы поставленной задачи в чисто геологическом плане.

Что касается физико-химических и чисто химических работ, относящихся к происхождению углей, то в последние годы начинает появляться ряд работ, заслуживающих специального обсуждения.

В ней доказывается, что основная причина метаморфизма углей Балахонской свиты в указанном месторождении лежит в так называемом региональном метаморфизме, т. е. в неодинаковом прежнем погружении отдельных пластов углей и в разных точках. Учитывая вычисленный И. И. Аммосовым средний градиент Хильта (1,45%) и горизонтальное изменение летучих в двух пластоточках (шахты № 3 и 5) с запада — северо-запада на восток — юго-восток, т. е. по простиранию складок, автор вычисляет первичную разницу в глубинах погружения и угол наклона поверхности около 8—9°.

Во всяком случае из этой работы становится очевидным, что в ряде параллельных синклиналей, в которых выходят изучаемые пласты угля, наибольшая углефикация находится ближе не к Салаиру и области наиболее напряженной складчатости, а к центру бассейна (северо-востоку). Это указывает на то, что динамометаморфизм здесь не является ведущим.

Прокопьевско-Киселевскому району недавно посвятил свою статью И. И. Молчанов. Он разобрал вопрос о взаимосвязи зон углефикации и тектонических структур. Говоря о степени углефикации по району, он констатирует, что она изменяется: а) со стратиграфической глубиной в каждой отдельно взятой точке, увеличиваясь от верхних пластов к нижним; б) вкрест господствующего простирания продуктивных отложений, возрастая с юго-запада на северо-восток; в) по простиранию пластов в пределах отдельных тектонических структур, понижаясь в направлении погружения их длинных осей.

Зоны углефикации в общем простираются параллельно длинной оси основных синклиналей, т. е. с юго-востока на северо-запад.

Из всех этих положений новыми и наиболее интересными являются факты, связанные с третьей закономерностью. Остановимся на этих фактах несколько подробнее на примере одной из синклиналий.

Для пласта IV Внутреннего мы имеем следующие данные. На южном замыкании синклинальной складки количество летучих равно 25,7% и возрастает к северу по обоим крыльям, достигая наибольшего значения в 28,5% в поле шахты «Зиминка». К северному замыканию складки начинается новое уменьшение летучих, т. е. повышение степени углефикации, причем количество v^{r} опускается до 22,5—20,4%.

Отсюда И. И. Молчанов делает такой вывод: степень углефикации пластов по простиранию в обоих крыльях складок понижается в направлении погружения их длинных осей.

Объяснение этой закономерности дается на основе того же регионального метаморфизма: в точках замыкания синклиналей выводятся на поверхность более глубоко залегавшие части того же пласта. «Изменение степени углефикации по простиранию, — пишет И. И. Молчанов, — наблюдается лишь в результате последующих широтных антиклинальных поднятий, которыми глубокие горизонты складок выведены к поверхности, а верхняя часть их денудирована.

Перегибы длинных осей складок и образование поперечных широтных антиклинальных структур явились следствием последнего цикла складчатости, в результате чего в сводах этих антиклинальных поднятий выходят угли наиболее высокой степени углефикации».

Так И. И. Молчанов определяет связь зон углефикации с геологическими структурами.

Наконец, в 1950 г. А. Б. Травин [16, стр. 84], как бы продолжая исследования И. И. Молчанова по поводу связи метаморфизма углей со структурами, вновь поднял вопрос о метаморфизме углей в Прокопьевском районе. Автор подтверждает эту связь своими работами и

считает, что степень углефикации закономерно повышается: 1) от замков антиклинальных складок к замкам синклиналей; 2) от западных (висячих) тектоноблоков к восточным (лежачим), 3) от западных крыльев синклинальных складок к восточным крыльям их; 4) от менее дислоцированных участков к тектонически более нарушенным; 5) в целом с запада на восток, к центру бассейна.

Из всего этого А. Б. Травин делает вывод, что интенсивная углефикация в районе прошла с тектоническими движениями и в связи с тектоническими движениями. Последние привели, с одной стороны, к резкой разнице в гипсометрическом положении между синклинальными и антиклинальными замками складок и, с другой стороны, к неодинаковой напряженности вещества угля и к неодинаковой степени углефикации его в различных частях дислоцированного пласта. Естественно ожидать, что уголь испытывает суммарное воздействие как со стороны глубинного, так и динамо-термального (курсив наш. Ю. Ж.) метаморфизма, накладывающихся друг на друга.

Трудно, да пожалуй и неправильно было бы разделить оба эти вида метаморфизма по времени» [16, стр. 85].

Хотя это и трудно, но следовало бы провести более глубокий анализ факторов там, где их можно выделить. Но, к сожалению, А. Б. Травин этого не делает и становится непонятным, почему те же самые факты, которые привели И. И. Молчанова и других исследователей этого района к полному отрицанию динамо-метаморфизма, позволили А. Б. Травину устанавливать здесь накладывающееся действие динамотермального метаморфизма. Кстати сказать, вводя этот термин, он не объясняет, тождествен ли он динамическому метаморфизму или представляет какие-нибудь отличия.

Почему их нельзя разделять по времени? Глубинный метаморфизм, или, что одно и то же, региональный, происходит главным образом до складчатости и заканчивается во время складкообразования в том случае, если соответственные угольные пласты или их части (структуры) в этот момент опускаются еще ниже, чем они были до него. В противном случае никакого увеличения степени углефикации не получится. А если оно произойдет, то, очевидно, за счет другого фактора, например динамо-метаморфизма, в чем надо убедиться.

Из перечисленных автором фактов только пункт четзертый, если он всюду подтверждается, может свидетельствовать о динамо-метаморфических явлениях. Но тогда следовало бы эти факты особо подчеркнуть и иллюстрировать с исключением всех других возможных объяснений. Между тем, И. И. Молчанов решительно отвергает связь степени углефикации с дислоцированностью как в крупных структурах (синклиналях), так и в мелких, что как будто ближе к истине.

Между тем, из представления, что такой-то вид метаморфизма прекращает в основном свое активное действие в определенный момент, вовсе не следует, что дальнейшего метаморфизма угля совсем не происходит. Несомненно, при складкообразовании имеет место и передвижение угольных пластов из одной термальной зоны в другую и возможно изменение геотермического градиента в сторону увеличения числа градусов на 100 *м* глубины вокруг основной области складчатости и т. д.

Наконец, возможны и динамо-метаморфические изменения, т. е. увеличение углефикации под влиянием динамического фактора (движений, напряжений и т. п.) Однако они требуют доказательств в каждом отдельном случае, тогда как значение погружения доказано неоднократно.

Подводя итоги исследованиям метаморфизма углей для Прокопьевско-Киселевского района и присоединяя сюда данные и заключения В. И. Яворского о зональности метаморфизма углей в Кузбассе вообще (которые мы приводим ниже), следует притти к выводу, что основным фактором здесь является региональный метаморфизм, т. е. глубина первичного погружения пласта. Остальные факторы, где и имеют место, то занимают подчиненное положение.

Как увидим ниже, то же заключение нужно сделать для всего бассейна в целом.

Еще в 1937 один из лучших знатоков угольных месторождений Кузбасса В. И. Яворский определенно указал на основную зависимость качественного изменения этих углей от регионального метаморфизма.

На основании большого фактического материала, дополненного петрографическим исследованием З. В. Ергольской, В. И. Яворский еще больше становится на почву признания регионального метаморфизма и отрицания заметной роли последующих тектонических процессов для изменения качеств угля.

Основным моментом различий В. И. Яворский считает глубину первичного погружения пластов. Роль тектонических движений выражается в выведении угольных пластов с глубин на поверхность. При этом автор указывает, что установленная А. Т. Донабедовым прямая связь плотности вмещающих пород и степени углефикации подтверждает основную закономерность.

Вместе с тем В. И. Яворский допускает, что неучтенные еще различия в условиях протекания биохимических процессов могут объяснить те особенности в изменении углей, которые не везде и не всегда полностью укладываются в схему регионального метаморфизма.

Между прочим, в этой работе В. И. Яворский указывает районы (к северо-западу от Кемерова и на крайнем юго-западе бассейна по р. Ачигус-Чумышский район), где им встречены настоящие антрациты.

В. В. Станов для выяснения влияния различных параметров метаморфизма сопоставляет их с выходом летучих.

На его карте можно видеть, что вместе с метаморфизмом, т. е. с падением летучих, удельный вес угля и выход смолы систематически уменьшаются, содержание углерода растет для всех типов углей, а содержание водорода закономерно падает.

Только толщина пластического слоя обнаруживает более сложную зависимость от степени углефикации при еще более сильном влиянии петрографического типа, четко выявляя на диаграмме зональность в распределении блестящих, полублестящих и матовых углей.

Региональные изменения установлены были для Кемеровского пласта от 33% летучих на северо-востоке до 24% в юго-западной части, а еще далее к юго-западу до 16—13% (Черемички). В Прокопьевско-Киселевском районе для пластов Внутренних изменение летучих происходит от 14% на юго-востоке до 34—36% на северо-западе (у Салаира).

В. В. Станов дает карту зон метаморфизма углей Кузбасса для Балахонской и отчасти для Ерунаковской свит. Из этой карты видно, что ближе к западной границе Кузнецкого бассейна проходит некоторое осевое поле, внутри которого помещаются наиболее метаморфизованные угли с 13% летучих.

Эта полоса, как и параллельные ей линии изоволей или изометаморфизма, с севера на юг бассейна изгибается в виде буквы *S*.

А к востоку и западу от краев полосы количество летучих зонально увеличивается в обе стороны до 35%.

Следует, однако, заметить, что эти кривые В. В. Станова на большем протяжении показаны пунктиром, так как имеют скорее характер прогноза, чем констатирования эмпирически установленных фактов. С этой точки зрения карта и ряд утверждений В. В. Станова справедливо критикуются В. И. Яворским.

Однако следует сказать, что, несмотря на недостаточный фактический материал, основную и в то время новую закономерность распределения марок углей в бассейне В. В. Станов осветил в общем правильно.

И. И. Молчанов в 1950 г. в своей новой статье касается и метаморфизма углей всего Кузнецкого бассейна в целом, примыкая в этом вопросе к утверждениям В. В. Станова и к взглядам, развитым в своей первой статье. И. И. Молчанов дает и схематическую карту для зон метаморфизма (рис. 1).

Он, так же как и другие исследователи Кузбасса, подтверждает, что никакого заметного изменения степени углефикации, которое можно было бы связать с динамо-метаморфизмом, на всей территории Кузбасса не установлено.

Как и в работе по Прокопьевско-Киселевскому району, он считает, что погружение угольных пластов здесь было связано не только с общим понижением фундамента угленосной толщи, но и с образованием складчатых структур.

Максимальная углефикация проходит где-то в средней части бассейна, зонами, параллельными простиранию Кузбасской структуры, т. е. с юго-востока на северо-запад. Изолинии летучих, замыкаясь на юге, обходят концентрически ось углефикации бассейна, так что ближе к окраинам мы наблюдаем линии большего количества летучих веществ.

Только угли Балахонской свиты содержат зону в 18—25% летучих, т. е. зону коксовых углей, тогда как Ерунаковская свита имеет обычно угли с 32—36 и более процентами летучих.

Главное отличие зональной схемы И. И. Молчанова от схемы В. В. Станова заключается в том, что на юге бассейна его изолинии не уходят, параллельно пересекая структуру бассейна, а замыкаются в соответствии с этой структурой.

Для углей наибольшей углефикации Ерунаковской свиты проведена лишь одна изолиния v^{r} равная 36%, внутри которой количество летучих несколько меньше (угли ПЖ), а вне ее больше 36%. Вблизи южного замыкания этой изолинии находится Осиновское месторождение с углями, близкими к коксовым (менее 30% летучих).

Обращаясь ко всем трем схемам метаморфизма Кузбасса (В. И. Яворского, В. В. Станова и И. И. Молчанова), мы должны притти к заключению, что, несмотря на некоторое различие в методах подхода, в степени детальности, в обилии приведенного фактического материала (наиболее богатого у первого) и разнице в способе изображения, все эти работы, вместе взятые, вносят значительную ясность в распределение углей каждой степени углефикации в обеих свитах Кузнецкого бассейна.

2. Донецкий бассейн

Метаморфизм углей Донецкого бассейна обстоятельно разбирался А. З. Широковым в 1948 г., причем он наглядно представил его закономерности в ряде картограмм, диаграмм и профилей.

Прежде всего А. З. Широков устанавливает закономерности, которые были в общих чертах известны и раньше (П. И. Степанов, Е. О. Погребицкий), но находились в противоречии со взглядами на метаморфизм Л. И. Лутугина, В. И. Соколова и Б. Ф. Мефферта.

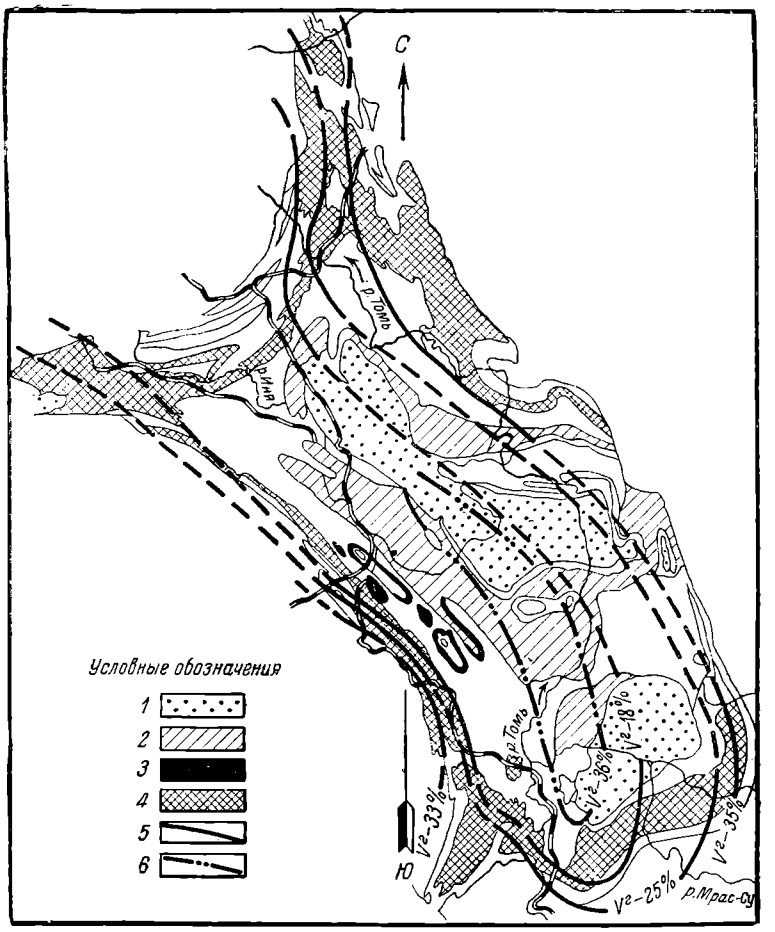


Рис. 1. Схема зон метаморфизма углей Кузбасса (по И. И. Молчанову):
1 — Конгломератовая свита юрского возраста; *2* — Ленинская подсвита (Ерунаковская свита); *3* — Ускатская подсвита (Ерунаковская свита); *4* — Балахонская свита; *5* — изолинии метаморфизма углей Балахонской свиты по группе Внутренних пластов (на севере по Горелому-Кемеровскому); *6* — изолинии метаморфизма углей Ленинской подсвиты по пластам E_5N_{15}

Эти исследователи считали основным фактором метаморфизма углей Донецкого бассейна — складчатость, т. е. динамо-метаморфизм.

Уже давно, начиная с работ Л. И. Лутугина и Б. Ф. Мефферта, констатировано закономерное (зональное) изменение качеств углей по Донбассу, т. е. их последовательный переход от длиннопламенных и газовых через спекающиеся к тощим и антрацитам.

На основании своих карт изоволей для разных пластов А. З. Широков уточнил, что это изменение углефикаций происходит в строго определенных направлениях — с запада на восток и от периферии к центру.

Последнее положение признается не всеми исследователями Донбасса. Часть их считает, что степень углефикации непрерывно возрастает от северной вплоть до южной окраины бассейна, что не соответствует уже фактическим данным. Некоторое, хотя и не столь резкое, как на северной периферии, уменьшение углефикации (повышение количества летучих) наблюдается и на юг от оси Донбасса.

Третьей закономерностью метаморфизма углей Донбасса является хорошо выраженное уменьшение летучих веществ, т. е. усиление степени углефикации с глубиной. Эта закономерность известна под названием «правила Хильта». Об ее особенностях для Донбасса мы будем говорить в другом месте, при трактовке этого вопроса, а сейчас перейдем к общей картине распространения углей разных марок в результате наложения всех закономерностей друг на друга.

Наименее метаморфизованные угли, длиннопламенные и газовые, занимают окраинные части бассейна, юго-западную, западную, северо-западную и северную, сосредоточиваясь в районах Красноармейском, Лисичанском, Марьевском. Площадь распространения спекающихся углей (марки ПЖ, К, ПС), приуроченная главным образом к центральной части западной половины бассейна, районам Сталино-Макеевскому, Центральному, простирается также в виде удлиненной полосы вдоль северной окраины бассейна, в районах Кадиевском, Родаково-Успенском, Краснодонском и Бело-Калитвенском. Обширная площадь восточной половины бассейна представляет область развития тощих и антрацитовых углей.

Из представленной им картины видно прежде всего, что зоны метаморфизма располагаются несимметрично и к югу от оси Донбасса (главной антиклинали), а в более восточной части встречаются только антрациты. Это объясняется тем, что ни количество летучих, ни мощность отложений не уменьшаются резко и быстро к южной границе бассейна, как это имеет место на северной окраине, т. е. и сама структура Донбасса несимметрична. Близости платформы на юге не чувствуется даже у самого края кристаллического массива. Это показывает, что геосинклинальные условия должны были распространяться не только к востоку, но и к югу от открытого Донбасса. Соответственно осадки или смыты, или глубоко опущены, а сейчас покрыты горизонтально-залегающими третичными и меловыми отложениями.

Переходя к вопросу о причинах метаморфизма углей Донбасса, А. З. Широков, следуя за П. И. Степановым и Е. О. Погребицким, видит основную причину этого изменения в увеличении мощностей угленосной толщи при движении от платформы на севере внутрь геосинклинальной области на юг и на восток. Но так как прямого соответствия между метаморфизмом углей и мощностью отложений местами не обнаруживается, то Е. О. Погребицкий, а за ним и А. З. Широков апеллируют к особенностям колебательных движений геосинклинали от платформы или точнее от напряжений, будто бы возникающих при самих колебательных движениях.

Между тем, эти мелкие колебательные движения по своему характеру именно таковы, что исключают возможность заметных усилений напряжения, поэтому и не ведут ни к каким разломам и вполне обратимы.

Гораздо правдоподобнее относить эти дополнительные усиления углефикации по направлению к центру геосинклинали вследствие уменьшения в этом направлении геотермического градиента, т. е. усиления температурного воздействия. На эту причину также указывает А. З. Широков. Но это требует дополнительных геотермических наблюдений.

В основном же исследования А. З. Широкова доказывают тесную взаимосвязь с мощностью отложений, которая в 2—3 раза увеличивается к востоку. Более метаморфизованные угли отвечают большей мощности отложений и, следовательно, большему прогибанию восточной части видимого Донбасса по сравнению с западной.

Следует отметить, что этот факт давно и твердо установлен П. И. Степановым, Е. О. Погребицким, В. З. Ершовым и другими исследователями Донбасса и сомнений не возбуждал. Поэтому неожиданными и вызывающими удивление являются единичные и не сопровождаемые доказательствами противоположные заявления А. К. Матвеева и В. И. Яворского о том, что соответственные свиты на западе Донбасса имели более мощную перекрышу и именно здесь испытали большее прогибание. Мы коснемся этого вопроса ниже.

Возражая против объяснения метаморфизма углей Донбасса динамо-метаморфизмом, А. З. Широков неоднократно ссылается на то, что изолинии летучих по отдельным пластам не совпадают с очертаниями отдельных структур, т. е. синклиналей и антиклиналей Донецкого бассейна, а «ложатся вне зависимости от складчатости», что по его мнению служит «неопровержимым доказательством отсутствия связи между структурой и метаморфизмом. Это лишний раз доказывает, что метаморфизация угля произошла до основных складок бассейна».

Между тем, дело обстоит не так просто. Если представить себе отдельную сравнительно небольшую структуру (отдельные мульды или западную часть главной антиклинали), где региональное изменение с запада на восток не так резко сказывается, как стратиграфическое, по правилу Хильта, там соответствие зональности со структурой говорит в пользу того, что метаморфизм произошел до складчатости. Отклонения от этого соответствия скорее свидетельствуют о последующих явлениях.

В более крупных тектонических структурах, наоборот, будет заметнее сказываться региональное изменение метаморфизма в одних и тех же пластах. Поэтому несоответствие тектоники и зон метаморфизма будет естественным для доорогенного происхождения последнего.

3. Урал

По метаморфизму углей Урала мы располагаем вышедшими во время войны двумя интересными статьями И. И. Горского [4], [5]. В одной из них [4] автор рассматривает распределение нижнекарбоновых углей Урала, находящихся в различных складчатых зонах уральской геосинклинали, в связи с общим тектоническим строением Уральского хребта. Он выделяет при этом ряд основных структур, синклинориев и антиклинориев, в уральском складчатом комплексе. С каждой из них связаны определенные угольные месторождения, характеризующиеся различным комплексом условий, в том числе и условий метаморфизма углей.

В другой статье [5] И. И. Горский специально рассматривает геологические факторы метаморфизма углей в обстановке каждой тектонической зоны Урала.

Так, у углей Западно-уральской окраинной зоны, т. е. Кизеловского района с его газовыми и жирными углями, автор объясняет общую степень углефикации региональным метаморфизмом. Различие же и беспорядочную быструю смену марок (от газовых до коксовых, по Л. М. Сапожникову) он ставит в связь с неразъясненными еще биохимическими местными причинами.

Динамо-метаморфизм здесь не имеет места, так как различие в степени дислоцированности, опрокидывание складок и надвиги не оказывают влияния на марочный состав угля. И. И. Горский [5, стр. 29] предполагает, что именно «...на материале Западно-уральского бассейна следует попытаться открыть действие каких-то новых факторов метаморфизма и выяснить их роль», так как по его мнению, «...все обычно даваемые объяснения подобного явления здесь не применимы».

Между тем, дело обстоит гораздо проще. На самом деле, по степени метаморфизма угли Кизеловского бассейна очень близки друг к другу и находятся в узком диапазоне Г — ПЖ.

Большое разнообразие в величине пластического слоя и спекаемости связано с их генетическими особенностями, выражающимися в петрографическом составе. По исследованиям И. Э. Валь́ц, более чистые клареновые угли и состоящие из блестящих углей пласты дают более высокий пластический слой и обнаруживают лучшую спекаемость, чем споровые дюрены, находящиеся иногда вместе с ними в том же пласте, хотя метаморфизация углей у них, несомненно, одинаковая.

Марки углей, по Л. М. Сапожникову, это не совсем то, что степени углефикации и они не должны при наличии разнообразия типов углей иметь выраженную метаморфическую зональность. Но если для анализа или маркирования взять угли одного петрографического типа, лучше всего наиболее чистого кларена, то, возможно, обнаружились бы и более тонкие закономерности.

Для углей зоны герцинских интрузий, имеющей характер антиклинория, И. И. Горский констатирует высокую степень метаморфизма — антрациты (Бородиновка, Бреды) и даже графитизированные антрациты (Полтавка, Фадино).

Автор считает, что здесь действовали все три вида метаморфизма. Но самым главным фактором, по И. И. Горскому, был, повидимому, контактный (вернее термальный) метаморфизм, который и определил антрацитизацию и графитизацию. Это весьма справедливое замечание, так как графитизация в результате одного регионального метаморфизма обычно нигде не происходит.

«Интрузии зоны герцинских интрузий», — пишет И. И. Горский [5, стр. 36], — это не единичные обособленные тела, вызывающие ограниченные ореолы контактного воздействия, это множественные проявления единого магматического очага, сливающиеся на глубине в гигантский магматический клин, вытянутый вдоль Урала, а все осадочные и вулканические породы в зоне герцинских интрузий — это лишь сохранившиеся участки кровли, насквозь измененные сильнейшим воздействием нижележащих интрузий.

В связи с такими условиями и действие контактного метаморфизма носило здесь не узкоместный характер, как это обычно бывает, а региональный, ибо все ранее образовавшиеся породы зоны гранитных интрузий радикальнейшим образом этими интрузиями метаморфизованы; при этом действовал и динамо-метаморфизм».

Это имеет существенное значение для понимания сущности термального (или диатермального, как его называют) метаморфизма, когда он из контактного перерастает в региональный. Такой случай имеет место, повидимому, и в Тунгусском бассейне.

Однако действие динамо-метаморфизма в этом случае И. И. Горский не подкрепляет фактами (а с очевидностью оно не выступает), хотя, несомненно, складки этой зоны более интенсивны, чем складки западного склона Урала (Кизеловского бассейна).

Угли восточной зоны с точки зрения метаморфизма очень разнообразны, но отсутствуют угли низкой степени углефикации.

Только самое западное и стоящее особняком Подосининское и Каменское месторождения дают жирные спекающиеся угли. Углефикация их средняя (ПЖ—К). Более точно они не определены.

Остальные месторождения, располагающиеся в один меридиональный ряд (Егоршинская полоса), характеризуются тощими углями, близкими к антрацитам.

Мезозойские угли повышают свою углефикацию к востоку и северу, что должно было отразиться и на карбоновых углях. Угли Егоршинской полосы подымаются поэтому до тощих и антрацитов.

Учитывая все эти обстоятельства, И. И. Горский полагает, что региональный метаморфизм, сильнее действующий вообще в центральных частях геосинклинали, можно оценить как Г и ПЖ. Остальное следует приписать другим факторам.

Разнообразие углей по отношению к степени углефикации в восточной зоне (Каменское месторождение — ПЖ; Подосининское —К; Синячиха, Таборы, Егоршино, Черемшанка и Алтынай— тощие угли, близкие к антрацитам) И. И. Горский объясняет контактно-метаморфическими местными условиями в некоторых из них.

В статье И. И. Горского, помимо картины региональных особенностей метаморфизма и попытки объяснения ее, намечается ряд ценных идей и методических подходов к изучению метаморфизма углей. Значимость регионального аспекта работы И. И. Горского заключается в сравнительном и взаимосвязанном анализе различных геологических факторов метаморфизма в отдельных тектонических зонах уральской геосинклинали.

4. Средняя Азия

Зональное распространение углей различных марок выявлено работами Н. В. Шабарова [17] как в отношении всей Средней Азии, так и в отдельных районах (например, в Восточно-Ферганском бассейне).

В обстоятельной монографии Н. В. Шабарова, учитывающей не только химические анализы, но и многочисленные определения степени углефикации по петрографическим признакам, исследованным А. И. Гинзбург, дается любопытная картина полосового, иногда линейно-вытянутого, иногда концентрического (параболического) расположения отдельных зон.

В Восточно-Ферганском бассейне общее увеличение углефикации (от газовых до антрацитов) направляется на юго-восток и, кроме того, она увеличивается к оси Ферганского хребта с северо-востока и юго-запада. Западнее на продолжении этой оси встречаются длиннопламенные, а еще далее — бурые угли.

Зональность обнаружена также в Южно-Узбекистанском районе и в Таджикистане. Углефикация понижается от Куги-танга (полуантрациты) к Байсуну [ПС], а еще далее — с юго-запада на северо-восток к коксовым и паровично-жирным углям.

Среди площадной зоны бурых углей, находящейся к западу от Восточно-Ферганского района и к северу от Южно-Узбекистанского, наблюдается повышение углефикации с запада на восток.

Касаясь причин метаморфизма углей и сопоставляя факты увеличения мощности вмещающих пород, положение в складчатой структуре

т. п., Н. В. Шабаров приходит к заключению о связи метаморфизма углей с положением месторождения в геосинклинальной области. Отсюда следует вывод о преобладающем значении регионального метаморфизма, происходящего до складкообразования [17, стр. 75].

К сожалению, ввиду тектонических дислокаций и сильной денудации учесть бывшую глубину погружения отдельных пластов и горизонтов не представляется возможным.

В отдельных местах возможны дополнительные влияния интрузий на метаморфизм углей.

Значение растущего Таласо-Ферганского разлома (который пересекает зоны различными марками от газовых до полуантрацитов) для метаморфизма углей берется Н. В. Шабаровым под сомнение, с чем следует согласиться.

Резюмируя работу Н. В. Шабарова по метаморфизму углей Средней Азии, можно констатировать, что и в Средней Азии, как и в других областях и бассейнах, ведущим фактором метаморфизма выявляется региональный метаморфизм, в основном проявляющийся до складчатости.

Однако отсутствие полного анализа метаморфизма углей, в связи с анализом тектонических движений и структур, особенно в Ю. Узбекистане и в Таджикистане, еще не дает достаточного права исключить влияние здесь синорогенного регионального метаморфизма и даже может быть динамо-метаморфизма. Последний мог бы проявиться не столько в самой складчатости, сколько в связанных с ней надвигах. Влияние надвигов на метаморфизм углей поднадвиговой части в некоторых случаях не подлежит сомнению. С этой точки зрения должны быть изучены месторождения, расположенные в зоне надвигов.

II. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАМОРФИЗМА

1. Стратиграфическая зональность метаморфизма, или правило Хильта

Так называемое правило Хильта, установленное на некоторых западноевропейских бассейнах еще в 70-х годах прошлого столетия, и в настоящее время нередко цитируется как проявляющееся или непроявляющееся в угольных бассейнах СССР

Однако следует учесть, что при этом мы вкладываем несколько иной смысл в указанное правило и придаем ему другое значение, чем первоначально ему приписываемое.

Дело в том, что Хильт формулировал свое правило, исходя из чисто эмпирических наблюдений в Рурском, Бельгийском и тому подобных бассейнах, примерно так: со стратиграфической глубиной выход летучих от пласта к пласту понижается. Благодаря этому угленосная толща Рура разделяется как бы на вертикальные зоны газово-пламенных, жирных и тощих углей, причем эти зоны приобретают стратиграфическое значение, отразившееся, как известно, в подразделениях этой толщи.

Поэтому в западной Европе долго был распространен взгляд, что все крупные бассейны построены по этому принципу, т. е. с вертикальной зональностью, господствующей над всеми другими закономерностями. Следовательно, исходя из качеств углей (количество летучих), можно уже определить стратиграфическое положение толщи. Такое строение приписывалось первыми исследователями и Донецкому бассейну.

В 30-х годах нашего столетия советскими исследователями-углепетрографами было развито учение об углефикации (метаморфизме

углей) и отчетливо наметилось понимание классификации Грюнера, как разделение углей по степени углефикации или метаморфизма. В связи с этим правило Хильта стало формулироваться несколько иначе: в одном стратиграфическом разрезе нижележащие пласты, как правило, имеют более высокую степень углефикации, чем вышележащие; или со стратиграфической глубиной степень углефикации повышается.

Однако этим вовсе не предопределяется, что данная группа пластов образует одну и ту же зону углефикации или метаморфизма по всему бассейну. Напротив, в общем случае в геосинклинальном или субгеосинклинальном прогибах, для которых только и приложимо правило Хильта, одни и те же пласты в разных частях бассейна имеют различную степень углефикации. Следовательно, на большой площади степени углефикации не характеризуют стратиграфического положения, как это первоначально наблюдалось в Рурском бассейне.

Отметим, что развитие разведок и эксплуатации в этом последнем бассейне к северу, а также к северо-востоку (по простиранию структур) здесь выяснило скольжение углефикации по стратиграфической шкале, чем уже говорилось выше.

Поэтому для нас вертикальная зональность метаморфизма представляется только одной из нескольких закономерностей распределения метаморфизма углей в пространстве, накладывающихся друг на друга. Тем не менее, ее влияние может быть выделено и подвергнуто изучению.

Интересные наблюдения в Кузбассе в связи с проявлением правила Хильта находятся в статье И. И. Аммосова [1]. Подходя к определениям тщательно с учетом возможных ошибок и отклонений, И. И. Аммосов дает сравнимый материал, по которому можно делать выводы.

По пластам Характерному, Горелому, Встречному, Юнкор (Прокопьевско-Киселевский район) для полублестящего угля средний градиент (изменение выхода летучих на 100 *м*) у И. И. Аммосова получается 0,76% при колебаниях от 0,56 до 0,96%. Это — для углей от 16,7 до 12,8% летучих веществ (пятая зона углефикации).

Для углей в шахте № 3 «Киселевской», отвечающих интервалу от пласта Внутреннего VIII до Безымянного (летучих веществ от 34 до 29%), h — градиент Хильта — изменяется от 0,99 до 1,73 %, а в среднем равен 1,24%.

Угли с 22—29% летучих, взятые в других шахтах, показали изменение градиента от 2,25 до 2,36%, т. е. самый высокий процент. Средний градиент для всех зон 1,45%.

Однако такая большая разница, как 0,96 и 2,25%, между рядом стоящими цифрами для 22% летучих в разных шахтах заставляет думать, что градиент зависит и от местных причин. Он вычислен всюду для одного полублестящего типа, что снимает возможность влияния петрографического состава, но остается возможность различий в разных тектонических структурах и частях одной структуры. Этот вопрос требует доработки.

В работе «О генезисе Ленинского месторождения Кузбасса» [3] И. И. Аммосов констатирует правило Хильта, т. е. стратиграфические различия в метаморфизме углей в Ерунаковской свите. Изменение содержания углерода в витрене различных пластов (сверху): для пласта Геолкомовского 78,74%, пласта Журинского 79,6%, нижележащего пласта Байкаимского 81,5% и для Болдыревского пласта 84,7% [3, стр. 38].

В отношении летучих веществ заметной и направленной разницы не наблюдается, что объясняется различиями в летучих минеральных примесях и пр.

Интересный и обильный фактический материал по проявлению правила Хильта приводится в работе А. З. Широкова. Он свои данные нанес на две диаграммы, в которых за координаты приняты стратиграфический разрез свит C_2^5, C_2^6 и C_3^1 (для пластов от k_2 до $м_5^1$) и содержание летучих веществ в процентах для Дзержинского и Енакиевского районов [1].

В первой диаграмме мы видим для верхнего пласта $м_5^1$, что выход летучих достигает 35,5%, а для нижнего пласта k_2 (расстояние по вертикали 900 *м*) он равен 23%. Летучие имеют тенденцию к уменьшению на протяжении всей кривой, но с некоторыми отклонениями в середине и с постепенным сглаживанием в нижней части.

Во второй кривой мы имеем в тех же пределах изменение летучих от 22,3 до 12,5%.

А. З. Широков вычисляет средний градиент в первом случае 1,4% на 100 *м*, а во втором — 0,9%. Но и эта цифра в более восточных районах с более тощими углями спускается очень низко. Рассмотрение второй диаграммы как будто показывает, что в углях, начиная, примерно, с 14%, уменьшения летучих с глубиной почти не наблюдается.

Отсюда А. З. Широков делает справедливое заключение, что эти величины градиента Хильта не являются постоянными для разных степеней углефикации и уменьшаются с запада на восток и от периферии к центру.

Обращаясь к объяснению правила Хильта, мы должны принять, как наиболее правдоподобное, повышение температуры в глубь земной коры за счет так называемого геотермического градиента. Последний подвержен некоторым колебаниям, примерно от 16 до 33 *м*, а в среднем 25 *м* на 1°

Однако замечено некоторое понижение этой цифры в областях опускания, в складчатых областях при приближении к центрам складчатых зон, по соседству с крупными плутонами, вокруг которых геотермический градиент изменяется концентрически.

Вероятно, во всех этих случаях понижение градиента (иногда до 10 *м* на 1°) указывает на более близкий источник тепла именно в таких местах. Этим может быть объяснено не только правило Хильта, но и некоторая площадная зональность метаморфизма в слабо складчатых зонах передовых прогибов или окраин геосинклинали.

Действительно, если предположить, что, например, геотермический градиент уменьшается в каком-либо бассейне к востоку, то при прочих равных условиях это значит, что данный пласт, даже одинаково погруженный, попадает в зону большего прогрева. Линии равной температуры (изотермы) будут косо пересекать и линии равного погружения, и угольные пласты.

Поэтому усиление метаморфизма углей, которое мы всегда наблюдаем к центру складчатой структуры (самой геосинклинали или передового прогиба), есть явление регионального метаморфизма, так как связано с той же причиной, что и повышение углефикации на глубину по правилу Хильта.

---

[1] Енакиевский район относится к восточной части Центрального района

Однако с точки зрения момента начала действия дифференциального геотермического градиента, вопрос гораздо сложнее.

Имеются данные о том, что градусные поверхности в центральной зоне сближаются. Остается ли это сближение после поднятия складчатости или оно еще более подчеркивается при этом — точными наблюдениями пока не доказано, и оно трудно поддается изоляции и строгому доказательству. Поэтому трудно решать вопрос, является ли такая зональность метаморфизма в складчатых областях доорогенной или синорогенной. Ее можно наблюдать изолированно лишь в редких случаях.

2. Региональный характер и зональность метаморфизма

Одной из интересных и важнейших для промышленной практики закономерностей метаморфизма углей является так называемая зональность его распределения.

Под зональностью метаморфизма углей подразумевают полосовое более или менее параллельное или концентрическое расположение углей с определенным интервалом степени углефикации, чаще всего определяемой выходом летучих веществ. Таким образом, зональность углефикации может быть выражена изолиниями летучих или изоволями.

Зональность метаморфизма на карте, т. е. в горизонтальной проекции, может происходить: 1) от проявления правила Хильта в антиклинальной или синклинальной складчатой структурах; 2) в одной и той же группе угольных пластов по простиранию их.

Первый случай определяется тем, что денудированная антиклинальная структура вскрывает к ее ядру все более глубокие горизонты с более далеко продвинувшимся метаморфизмом углей. Это наблюдается, например, в главном антиклинале Донецкого бассейна и хорошо было известно еще Л. И. Лутугину.

Второй случай является следствием регионально направленного изменения степени углефикации. При этом обычно направление усиления метаморфизма совпадает с увеличением мощности толщи по мере приближения к оси геосинклинального или складчатого сооружения.

И тот, и другой случай происходит в сущности вследствие комбинации пространственного изменения углефикации и уровня денудации.

Все более или менее детально изученные угольные бассейны и даже провинции угленакопления (например, уральские) обнаруживают выраженную зональность. Четко выделяется зона углей средней степени углефикации Западного Урала и две зоны (полосы) более сильной, но разной углефикации восточного склона Урала. В Донбассе известен ряд концентрических зон, начиная с бурых углей до антрацита и т. д.

Обнаружение и фиксирование на картах зональности метаморфизма углей является большим достижением советской угольной геологии. Зональность подчеркивает вообще закономерность метаморфических изменений на больших площадях и именно региональный характер метаморфизма. Поэтому приведенные нами региональные работы по метаморфизму очень важны с теоретической и практической точки зрения. Большинство этих работ приводит к выводу о преобладающем характере метаморфизма — региональном. Он связан главным образом с повышенной температурой и отчасти с повышенным давлением при погружении на глубину в недра земли. Время действия его — преимущественно до начала складкообразования. Но не исключено усиление температурных влияний и в начале поднятий и складчатости в случае изменения геотермического градиента в зоне интенсивной складчатости [16].

Динамо-метаморфизму уделяется в цитированных работах небольшое и не вполне определенное место. Он рассматривается лишь как допол-

нительный фактор метаморфизма, усиливающий в некоторых случаях основной эффект регионального метаморфизма.

Контактный метаморфизм только тогда оказывает заметное влияние, когда интрузивные тела приобретают характер широко развитых пластовых залежей (Тунгусский бассейн) или мощных батолитов (восточный склон Урала). Он действует в этих условиях не только и не столько в контактах, сколько регионально, благодаря широкому прогреванию осадков и, в частности, углей. Поэтому в соответственных случаях его следует назвать регионально-термальным метаморфизмом. Именно ему, как справедливо указал И. И. Горский, обязана антрацитизация и графитизация углей полосы антиклинория герцинских интрузий.

Такое понимание в значительной степени облегчает прогнозы углефикации, так как нам известны общие принципы региональной зональности и накладывающиеся на нее локальные изменения.

Несколько особняком от обычных геологических представлений стоят взгляды геолога А. К. Матвеева на метаморфизм углей и его основные фазы. Сущность их состоит в следующем. После биохимического разложения растительного вещества в торфяном слое (25—30 *см* от поверхности) торф испытывает на бо́льших глубинах лишь геохимические изменения, которые заключаются в разложении материала и превращении его в коллоидное состояние в условиях набухания. После погребения торфяника под слоями новых осадков начинается освобождение коллоидной массы от воды набухания и процесс самопроизвольной коагуляции или старения коллоидов. Эту фазу метаморфизма автор считает основной (фаза старения коллоидов). Она происходит еще в нормальных термодинамических условиях и до того, как начинает действовать увеличение температуры и давления. В этих условиях торфяные коллоиды достигают известной стабилизации.

Если изменение термодинамических условий происходит п о з ж е стабилизации, то каменного угля не образуется, а уголь остается на буроугольной стадии.

Действительно А. К. Матвеев приходит к выводу, что после этой стадии стабилизация коллоидов и складчатость, и глубокое погружение не ведут к увеличению углерода и переходу бурого угля в каменный. Проанализированных до конца примеров, подтверждающих это положение, А. К. Матвеевым не приведено. Так, по поводу бассейна Ю. Уэллса он пишет: «Сильно дислоцированные южные месторождения Ю. Уэллса, вмещают в себе газовые угли, в то время как в северной части бассейна, характеризующейся пологой складчатостью и малым количеством дизъюнктивных дислокаций, развиты антрациты».

О метаморфизме углей Ю. Уэллса сказано ниже. Здесь отметим, что никаких «сильно дислоцированных месторождений» на юге бассейна нет и залегание в нем везде пологое. Дизъюнктивные явления находятся почти исключительно на севере. Поэтому отрицательный вывод автора базируется на каких-то неточных данных.

В бассейне Мичиган, по утверждению А. К. Матвеева, средняя группа угленосной толщи (Седжино) «. .вмещает газовые угли, а вышележащая группа (Верне) — угли коксовые». На самом деле, угли Мичиганского бассейна типично длиннопламенные, не спекающиеся. Коксовых углей там нет и не может быть, так как бассейн чисто платформенный с маломощной угленосной толщей и с почти горизонтальным залеганием внутри весьма пологой мульды. Таким образом и здесь приводимые «факты» по крайней мере «неточны». Критическая же часть его работ изобилует такими фактическими ошибками и неточностями, что эти данные не могут служить материалом ни для критики, ни для создания и утверждения новой гипотезы.

Однако на основании этих неточных данных автор пытается подойти к критике динамического и регионального метаморфизма углей, расчищая путь к сомнительной гипотезе, которую нельзя проверить и которая не подтверждена автором какими-либо точными и убедительными примерами.

В стороне от общего потока геологической мысли остается также новая статья В. И. Яворского которая, однако, затрагивает и Донбасс и имеет в виду поставить общий вопрос о метаморфизме углей. Поэтому мы ее рассматриваем в общем, а не в региональном разделе настоящей работы.

Для объяснения различной природы углей Балахонской и Ерунаковской свит В. И. Яворский привлекает различие в накоплении растительного материала в торфяном болоте.

Растительный материал для углей Балахонской свиты, по его словам, накоплялся в верховых болотах, где и происходило его первоначальное превращение в условиях аэробного характера, т. е. в условиях окислительной среды.

Для Ерунаковской свиты накопление и превращение растительного материала в торф происходило в низинных болотах в анаэробных условиях.

В первой преобладал более крупный растительный материал, во второй — более измельченный.

По степени углефикации балахонские угли меняются от антрацитов до газовых, ерунаковские — от паровично-жирных до длиннопламенных.

В. И. Яворский справедливо возражает против точек зрения, которые связывают метаморфизм углей с различной интенсивностью складок, показывая на ряде примеров, что при равной дислоцированности могут быть угли различной степени метаморфизма, и наоборот, при наличии спокойной пологой складчатости угли могут быть метаморфизованы больше, чем в местах более интенсивно складчатых в том же бассейне (Донбасс, Кузбасс).

На основании этого В. И. Яворский отрицает ведущую роль динамо-метаморфизма, что согласуется с большинством фактов в различных угольных месторождениях и бассейнах.

Это, однако, не препятствует противопоставлению пологих платформенных бассейнов (Подмосковный) с низкой углефикацией бассейнам складчатых областей с более высоким и разнообразным метаморфизмом (Урал, Донбасс и пр.), что равносильно противопоставлению платформенных и геосинклинальных условий угленакопления, так как складчатые области возникают на месте прежних геосинклиналей.

Контактному, т. е. вообще термальному метаморфизму, В. И. Яворский отводит только местное значение и считает ссылки на универсальную его роль в Тунгусском бассейне (а следовательно, и на Урале, по И. И. Горскому) неубедительными. Однако в чем их неубедительность, он не показывает.

Подтверждая еще раз большое значение регионального метаморфизма, В. И. Яворский, однако, подвергает рассмотрению сначала биохимические процессы и приходит к несколько неожиданным результатам. Главное различие между торфом и каменными углями по В. И. Яворскому состоит в том, что в торфе очень много полуразложившихся остатков, сохранивших свое строение, тогда как в каменных углях (в этом конечном продукте разложения растительности, прошедшей в процессе разложения стадию студнеобразной массы гуминовых веществ) растительных остатков, наиболее прочных, очень мало, гуминовых же веществ, наоборот, очень много.

Эта предпосылка для дальнейших рассуждений, однако, заключает в себе ряд неточностей, препятствующих убедительности последующих выводов. Из каменных углей автор имеет в виду лишь клареновые с преобладанием гелефицированной массы, или, что то же самое, — гуминовых веществ. А для торфяной стадии берет мало разложенный современный торф умеренных широт. Так как разложение торфа бывает очень различное, то и среди современных торфов могут быть найдены и действительно найдены такие, степень разложения которых достаточно велика. Если бы среди современных торфов их и не оказалось, то какое имеется основание утверждать, что из них получаются впоследствии клареновые угли. Напротив, из них, естественно, произошли бы дюрены и т. п. Карбоновые кларены имели своим источником, конечно, другие, именно древесные субтропические, торфяники, своеобразные и очень мало похожие на современные торфы умеренного пояса.

Но не все же ископаемые каменные угли являются кларенами, а многие обладают слабой разложенностью. Изучая проявления углефикации в Донецких и Кузнецких углях, З. В. Ергольская [7, стр. 11] констатировала, что переход одной марки или степени метаморфизма в другую не меняет соотношения составных элементов, т. е. и степени разложенности, а выражается во вторичных наложенных процессах (потемнение цвета, потеря прозрачности и пр.).

Но, основываясь на выдвинутом несоответствии кларенового угля и современного торфа, В. И. Яворский становится на точку зрения некоторых микробиологов и считает, что « в глубоких частях торфяника, в особенности после его погребения, весь кислород его потреблялся микроорганизмами, и при отсутствии притока кислорода и повышенной температуры сильно размножались анаэробные термофильные бактерии».

«Все это вместе взятое приводит к выводу, что основная, ведущая роль (разрядка наша, Ю. Ж.) в преобразовании растительного материала принадлежала биохимическим процессам. Региональный же метаморфизм играл роль вспомогательную, ускоряя и дополняя эти процессы».

Этим В. И. Яворский объясняет переход в одних и тех же пластах газовых или коксовых углей в антрациты (?).

Еще более резко В. И. Яворский становится на биохимическую точку зрения для Донбасса. Различие, например, между низкой метаморфизацией донецких углей на западе бассейна и высокой на востоке он пытается объяснить так:

«Причину этого, как нам представляется, следует искать в различии биохимических процессов, которые почему-то (почему — это нам пока неизвестно) приостановились на той или иной стадии в одном и том же слое растительной массы различных районов того или иного бассейна».

Такое заключение, апеллирующее к неизвестному, как решающему фактору, уводит нас далеко назад от познания геологических закономерностей метаморфизма, установленных во многих из них советскими геологами, в том числе и самим В. И. Яворским.

Тогда и зональность метаморфизма, отмеченная в Кузбассе Яворским, в Донбассе еще Л. И. Лутугиным и др., окажется объясняемой только таинственной границей действия микробов, а в отношении прогноза мы делаемся совершенно беспомощными, так как зональность в непонятной деятельности микробов невозможно предсказывать. Следовательно, апелляции к микробиологической активности, как к основному

фактору метаморфизма (?) углей, нисколько не разрешает вопроса и не объясняет противоречия и отклонения от закономерностей. Между тем, эти противоречия и отклонения при строгом методическом подходе могут стать исходной точкой для установления наложенных влияний, иногда становящихся более эффективными, чем влияние основного фактора.

В данном случае для Донбасса они основываются на неизвестно откуда взятой автором предпосылке, что «. давление на угли вышележащих пород и опускание углей на глубину были в западных районах бассейна не меньше, а скорее больше, чем в восточных».

Однако все исследователи геологии Донецкого бассейна единодушно считают, что на западе и северо-западе Донецкий бассейн переходит в платформу, к юго-востоку носит более геосинклинальный характер. Различия в глубинах погружения или мощностей угленосной толщи даже выражаются в горизонталях-изопахитах (А. Широков, В. Ершов, Ренов и др.) и свидетельствуют об ошибочном утверждении В. И. Яворского.

Указанные выше представления В. И. Яворского опровергают им же высказанные раньше мысли о ведущем значении регионального метаморфизма.

Он как будто низводит его значение до действия правила Хильта. «*Влияние метаморфизма этого рода с несомненностью подтверждается* установлением для всех угольных бассейнов неплатформенного типа изменения содержания летучих (уменьшения) со стратиграфической глубиной».

Между тем, большинство геологических работ последнего времени на советских угольных месторождениях все более утверждает преобладающее значение регионального метаморфизма, объясняя им и зональность его распространения. Все другие виды метаморфизма, а также биохимические процессы считаются дополнительными, объясняющими некоторые колебания и отклонения от общей тенденции.

III. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ МЕТАМОРФИЗМА В СВЯЗИ С ТЕКТОНИКОЙ

За истекшие 10 лет было сделано сравнительно немного попыток подойти к методике изучения метаморфизма углей. Заслуживают особого внимания работы И. И. Горского [4] о разнообразии метаморфизма уральских углей в связи с геотектоническим районированием Урала. Но помимо этого, И. И. Горский [5] применил методический прием, который может иметь принципиальное значение не только для Урала, но и для исследования факторов метаморфизма углей вообще. Исходя из единообразия и плавного изменения условий регионального метаморфизма, автор допускает что, если в какой-либо зоне, подвергавшейся воздействию регионального метаморфизма, имеются угли различной стадии метаморфизма, то весьма вероятно, что наиболее низкая степень метаморфизма углей (определенного, конечно, возраста) является наиболее близкой или равной той, которая была создана региональным метаморфизмом. Все же случаи наличия более высоко метаморфизованных углей объясняются действием каких-либо последующих факторов или одновременных, но действующих дополнительно к основному — региональному метаморфизму, ибо процесс метаморфизма угля есть процесс необратимый» [5, стр. 34].

Это положение важно для тех угольных бассейнов, где имело место несколько фаз опусканий и складчатости, как, например, на восточном

склоне Урала или таких, где наряду с обычными складчатыми условиями бо́льшую или меньшую роль играют более молодые кислые изверженные породы.

Допущение И. И. Горского в этих случаях весьма правдоподобно, и его можно приложить во многих подобных случаях.

Однако для определения степени единообразия и общего объема регионального метаморфизма следует учитывать и диапазон изменения мощности угленосной толщи и покрывающих пород. На сильно денудированном Урале этот вопрос пока еще решается очень неточно и с трудом можно восстановить, какая именно перекрыша существовала над нижними пластами нижнекарбоновых углей в отдельных зонах его структуры. Если исходить из пропорциональности мощностей геосинклинального комплекса в целом и каждого его члена [1] (угленосной толщи) в отдельности, то на восточном склоне Урала мощность надугольного комплекса должна быть в 3—4 раза выше, чем на западном. Поэтому и глубина погружения и степень углефикации, вследствие регионального метаморфизма на восточном склоне Урала, должны быть заметно выше, чем на западе вблизи окраины геосинклинали. Видимое уменьшение мощностей, которое приписывается обычно рано начавшимся поднятиям, вероятнее всего связано с денудацией.

Действительно, если предположить, что весь герцинский комплекс после девона имел мощность не более 2 *км*, тогда как на западном склоне она достигала около 4 *км*, то получится довольно странная картина: наибольший вулканизм, наибольшая метаморфизация пород и максимальная складчатость Уральского хребта, т. е. центральная часть геосинклинали, не отвечают ни большой мощности осадков, ни наибольшему погружению, что трудно допустить.

Метод, предложенный И. И. Горским, следует принять и испытать на ряде геосинклинальных бассейнов с учетом мощностей осадков.

Другое общее положение, которое вытекает из содержательной статьи И. И. Горского, говорит о том, что в геосинклинальных условиях, в особенности в центральных частях геосинклинальной области, факторы метаморфизма углей могут быть разнообразными и накладываться друг на друга, поэтому расшифровка отдельных влияний требует тщательного анализа всех условий. Не лишен поучительности приводимый И. И. Горским факт, что некоторые молодые интрузии или не были известны до более новых и детальных исследований (Фадино), или просто еще не вскрыты денудацией. Это может служить предостережением для заключений последовательных эмпириков, которые отсутствие данных о вулканических проявлениях в данной точке принимают как непреложный геологический факт, несмотря на региональное окружение подобных проявлений.

Следует упомянуть еще об одном обобщении И. И. Горского [5, стр. 34]. Говоря о широком, плавном и постепенном изменении интенсивности регионального метаморфизма, он пишет: «Более резкие изменения в силе регионального метаморфизма имеют место лишь на границе складчатой зоны с платформой».

Это положение едва ли можно принять без его обоснования и проверки на широком материале, так как мощности от платформы к геосинклинали растут обычно постепенно, а не скачкообразно.

Нельзя также полностью принять положения, что в центральной зоне Урала благодаря постепенности и плавности изменений регионального

[1] Такая пропорциональность установлена для разных свит Донбасса и является естественной для геосинклинальных условий и вообще для крупных областей погружения (В. З. Ершов, П. Прюво).

метаморфизма он мог быть только немного выше Г—ПЖ, и здесь нельзя было бы ожидать антрацитов и графитизированных антрацитов от добавочных влияний [5, стр. 35].

Для графитизированных антрацитов это безусловно верно, но мерой регионального метаморфизма здесь скорее нужно считать К или Т [1]. Пример Донбасса показывает, что и антрациты могут появиться как закономерная ступень регионального метаморфизма.

К тому же методическому разделу следует отнести работу автора настоящей статьи «Зональность метаморфизма углей, как метод расшифровки тектонической структуры» [9], которая проведена на материале Южно-Уэллского угольного бассейна. Мы изложим вкратце только сущность этой работы. Она заключается в том, что распределение марок углей в этом карбоновом бассейне не вязалось с известным и давно принятым в Европе воззрением на тектонику окружающих регионов. Поэтому нахождение антрацитов на северо-западе бассейна и «битуминозных» углей с 10—35% летучих на юге и на юго-востоке объяснялось различными гипотезами, а в частности, различным исходным растительным материалом (Стрен и Поллард, 1908– 1915 гг)

Незакономерное, как казалось, распределение метаморфизма углей в Южном Уэллсе, в северо-восточном Китае, в Чехословакии (Хандлова) и других местах давало повод некоторым исследователям ставить под сомнение геологические факторы метаморфизма и высказывать безответственные гипотезы без проверки их на десятках других, лучше изученных в этом отношении бассейнов.

В последние годы, однако, выяснились для Уэллса некоторые новые факты. Во-первых, микроскопическими исследованиями было доказано, что антрациты происходят из тех же самых растений, что и прочие каменные угли бассейна.

Во-вторых, составление карты изоволей для нескольких основных пластов по всему бассейну обнаружило строгую зональность углей с простиранием на северо-восток по линиям несколько выпуклым к югу и юго-востоку, т. е. параллельно Южно-Уэллскому, «каледонскому» складчатому массиву, а не юго-западному простиранию лежащих к югу арморикапских складок герцинского возраста (рис. 2).

Западнее залива Кармартен последние складки близко подходят к западному продолжению Южно-Уэллского бассейна, отделенному от остального бассейна упомянутым заливом. Здесь они надвинуты на мощную угленосную толщу, сильно перемятую и заключающую исключительно антрациты.

Изучение мощностей девона (особенно верхнего) и карбона, в том числе и угленосного, приводит к констатированию сильного увеличения мощностей именно по направлению к «каледонской» складчатости.

Поэтому возникает естественный вопрос: не является ли складчатый массив Южного Уэллса не только каледонским (несогласие силура и ордовика, а также кембрия), но в какой-то мере и герцинским и не представляет ли этот лежащий к западу и северо-западу от бассейна массив лишь сильно денудированное каледонское ядро более позднего, именно герцинского орогенеза?

Стоит только поставить этот вопрос, чтобы увидеть, что положительный ответ на него привел бы к уничтожению всех или большинства противоречий, которые постоянно отмечались как в региональных, так и в угольных работах.

---

[1] Это, пожалуй, более отвечает основному тезису И. И. Горского о наименьшей метаморфизации, как мере регионального метаморфизма.

Если рассматривать Южно-Уэллский каменноугольный бассейн как «передовой прогиб» какого-то горного и тектонического сооружения, то из рассмотрения мощностей (нижняя угленосная свита изменяется от 600 *м* на востоке до 2000 *м* и более на западе), зон метаморфизма углей, распределения надвигов (на северо-западных границах и направленных с северо-запада) и других признаков делается очевидным, что для герцинского прогиба платформа была на юго-востоке, а геосинклиналь и складчатая зона на северо-западе.

Только западная Пемброкширская часть бассейна попадает в клещи между этой зоной и надвинувшейся с юга, возможно несколько более поздней, полосой арморикапских складок.

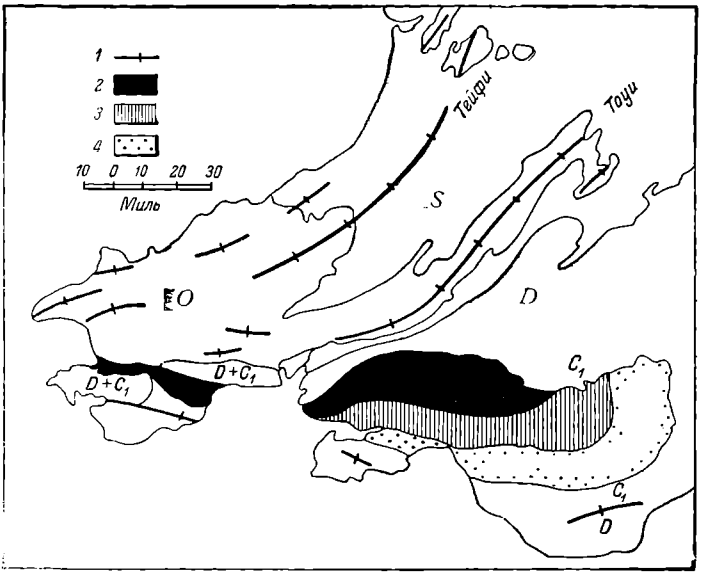


Рис. 2. Зоны метаморфизма углей Южно-Уэллского бассейна
основные антиклинали:

1 — антиклинали; *2* — антрациты и полуантрациты (до 10% v^r); *3* — паровичные угли (10—17% v^r); *4* — спекающиеся угли (18—35% v^r); *O* — ордовик; *S* — силур; *D* — девон; C_1 — нижний карбон и жерновой песчаник

Итак, новое представление о тектонике, «каледонского», как отчасти и герцинского, массива Южного Уэллса делает распределение различных марок угля в бассейне вполне закономерным с точки зрения тектоники и в смысле регионального метаморфизма (отчасти может быть динамометаморфизма — надвигов).

На этом примере видно, что изучение зональности метаморфизма углей может внести некоторую ясность в представление о тектонических движениях района. Следовательно, оно может служить одним из методов расшифровки тектонической структуры.

Таким образом, на примере Южно-Уэллского бассейна решается обратная задача: не по структуре намечаются закономерности метаморфизма, а наоборот, из закономерности выводится структура.

Этот метод можно применить и в других случаях и проверить на тех, в которых региональная тектоника хорошо известна.

IV. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ И СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА УГЛЕЙ

1. Разграничение понятий углефикации и метаморфизма углей

Вопрос о подразделении понятий углефикации и метаморфизма углей был поднят недавно в статье А. Б. Травина и нашел ответ в статье Ю. А. Жемчужникова.

Ценность статьи А. Б. Травина в том, что она поднимает ряд принципиальных вопросов, касающихся метаморфизма углей вообще и терминологии в частности. И хотя с нашей точки зрения некоторые из них он трактует неправильно, актуальность постановки многих вопросов его статьи несомненна.

К весьма своевременным и назревшим вопросам относится и вопрос об определении и разграничении понятий углефикации и метаморфизма углей. А. Б. Травин (вопреки автору термина — З. В. Ергольской) решает его в смысле распространения понятия углефикации на торф и графит. Но так как в таком объеме углефикация становится синонимом углеобразования + графитообразования вообще и даже обуглероживания, то А. Б. Травин предлагает расчленить ее на три: 1) сингенетическую углефикацию (в торфе); 2) диагенетическую и 3) метаморфическую. Последняя в его понимании начинается только с тощих углей, так как все предыдущие марки, по его мнению, обязаны своим происхождением диагенезу. Этого вопроса о границах мы коснемся ниже.

Уместно отметить, что говорить об углефикации в торфе или графите — значит вносить внутреннее противоречие в терминологию, нарушая к тому же приоритет в ее установлении.

Действительно, как показывает грамматический смысл слова, углефикация, имея корнем слово у г о л ь (а не углерод), не может быть приложена ни к чему, кроме углей. Торфоведение никогда не может признать, что изучаемый этой наукой процесс превращения растительного вещества в торф, т. е. оторфенение, на самом деле есть какая-то углефикация от того, что в глазах геологов-угольщиков торф может стать первичной стадией углеобразования.

Исследователи, занимающиеся графитом и графитизацией, также никогда не поймут, как этот процесс, удаляющий свойства получающегося вещества (являющегося уже не горючим) от угля, можно назвать углефикацией.

С другой стороны, З. В. Ергольская и другие углепетрографы под углефикацией всегда понимали совокупность вторичных процессов в противоположность первичным, совершающимся в торфянике. Таким образом, углефикация — это процесс развития угольного вещества от его начальных стадий, т. е. бурого угля, до антрацита включительно.

Такое понятие для вторичного изменения углей необходимо иметь потому, что в природе мы имеем иногда всю гамму углей (от бурого до антрацита) или ее отрезки в одном угольном бассейне или месторождении. Несомненно, это непрерывный ряд развития угольного вещества в недрах земли под влиянием геологических процессов.

Метаморфизм углей конечной стадией имеет метаморфическую породу — графит, который уже не есть уголь, а негорючая горная порода. Вопрос о начале метаморфизма спорен и будет нами рассмотрен в особой статье.

Существует взгляд, принимаемый автором настоящей статьи, что все угли, в том числе и бурые, может быть, за исключением самых

первичных, еще почти не отличимых от ископаемого торфа, произошли вследствие матаморфизма.

Другая крайняя точка зрения считает, что даже антрациты, не говоря уже о всей гамме каменных углей, произошли вследствие диагенеза. Она включает в диагенез не только диагенез осадка (т. е. превращение его в осадочную породу), что теперь многие ученые (Пустовалов, Швецов, Рухин) относят к сингенезу, но и диагенез породы, т. е. последующие превращения самой породы. Последние относятся этими исследователями к эпигенезу или позднему диагенезу. Эпигенез по Л. Б. Рухину может происходить при давлениях вышележащих пород до 1000—1500 *атм* и при температуре до 200°

Наконец, имеются и средние взгляды (А. Б. Травин), согласно которым, граница диагенеза и метаморфизма проходит где-то между спекающимися и тощими углями.

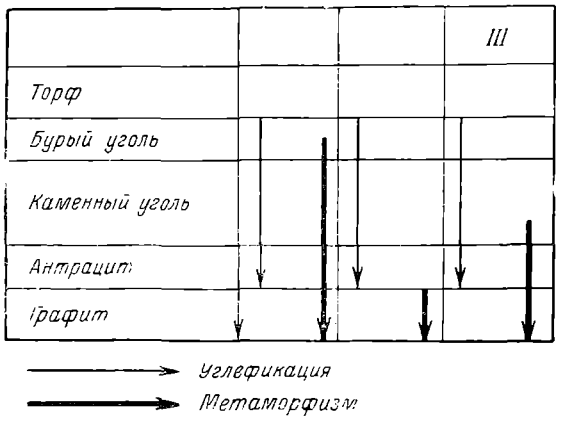


Рис. 3. Схема трех случаев сопоставления **метаморфизма** углей и углефикации

Это различие лежит исключительно в разнице определений понятия метаморфизма горных пород и факторов, его определяющих.

Оставляя этот вопрос в стороне (он требует особого рассмотрения, выходящего за рамки данной статьи), отметим, что, согласно первому взгляду, углефикация в гамме углей почти совпадает с метаморфизмом, и эти два понятия могут употребляться в качестве синонимов (в пределах углей)

Во втором случае получается наибольшее расхождение, т. е. углефикация будет вне пределов метаморфизма и они явно не совпадают друг с другом.

Наконец, в третьем случае будет иметь место частичное их совпадение. Эти три случая можно пояснить диаграммой (рис. 3).

Из схемы, представленной на рис 3, видно, что объем понятия метаморфизма во всех случаях неодинаков и зависит от существующего на него взгляда.

Углефикация же во всех случаях одинакова по объему. Это происходит потому, что термин углефикация по самому определению охватывает все превращения угольного вещества от бурого угля до антрацита. Он не зависит от того, каким вторичным причинам обязаны эти превращения. Но термин углефикация, естественно, будет отвергнут теми исследователями, которые все «марки» углей относят за счет первичных, т. е. фациальных, различий в самом торфяном болоте и не придают значения геологическим факторам.

Очень часто, особенно углехимиками, вместо слов углефикация или метаморфизм употребляется термин обуглероживание. Это неправильно потому, что вместо специального термина, касающегося процессов превращения ископаемых углей, дается широкое понятие, охватывающее самые разнообразные процессы в природе и технике, в результате которых накопляется углерод. Но углерод накопляется и в листьях растений

под действием солнечных лучей из углекислоты воздуха, и в торфянике при разложении и превращении живых растений в торф, и при образовании фюзена, и при превращении горючих веществ в негорючие — в графит.

В искусственных процессах получения кокса, полукокса и т. п. также происходит обуглероживание, которое ничего общего не имеет с углефикацией, кроме повышения содержания углерода.

Процессы фюзенизации и графитизации или образование кокса весьма отличны от того, что мы подразумеваем под углефикацией. В первых случаях процесс направлен в сторону образования чистого углерода, в то время как в ряду углефикации происходит превращение одних углеродистых ароматических веществ в другие, более конденсированные или полимеризованные, но не заключающие элементарного углерода.

2. О физическом состоянии угольного вещества, физических свойствах углей и определении оптических констант для измерения степени углефикации

Уже давно дебатировался вопрос об агрегатном состоянии вещества углей в разных марках, причем и раньше, и в наше время есть сторонники как взгляда об аморфном и об изотропном их состоянии (Порфирьев, отчасти Касаточкин и др.), так и представления об анизотропности и о растущем кристаллическом состоянии угля.

Вопрос в последнее время осложнился и тем, что различия между аморфными и кристаллическими телами в значительной мере сгладились.

Для выяснения «тонкой структуры» углей стали применять новые оптические методы: рентгенометрические исследования при помощи дебаеграмм, электронно-микроскопические исследования, изучение в поляризационном микроскопе и т. п.

О внутренней структуре угля за последние 5—6 лет у нас появился ряд работ, связанных с изучением метаморфизма.

Рентгеновский метод. Исследование метаморфизма углей, антрацита и графитов методом дебаеграмм А. С. Кумпаном показало некоторые особенности внутренней структуры угольного вещества по сравнению с графитом.

А. С. Кумпан пришел к следующим выводам [11, стр. 301—302]: «Кристаллизация вещества углей происходит непрерывно от бурых углей к антрацитам и скачкообразно к графиту и лежит в основе изменения физических и петрографических свойств углей, которые мы наблюдаем в проходящем, отраженном и поляризованном свете (увеличение блеска, твердости, удельного веса, анизотропизма)».

И далее читаем:

«Отсутствие в углях всех кристаллических связей, присущих графиту, различия в параметрах решетки, а также отсутствие постепенного перехода от антрацита к графиту позволяет предполагать, что при кристаллизации вещество углей проходит ряд промежуточных стадий от веществ, имеющих несовершенные кристаллические формы, ко все более совершенным.

Эти промежуточные вещества могут и не являться графитом» [стр. 302].

Таковы результаты метаморфизма углей в условиях регионального метаморфизма.

«При искусственной кристаллизации углей, а также при контактном метаморфизме, протекающем сравнительно быстро, и при высокой

температуре в веществе углей могут возникать узлы графитовой решетки и кристаллы графита, что мы не наблюдаем при медленной кристаллизации углей в условиях регионального метаморфизма» [стр. 302].

Еще более определенно против принципиальной близости решетки антрацита и графита выступает В. Касаточкин [10]. Он дает микрофотометрические кривые для углей, начиная от землистых бурых до антрацита, а также для шунгита и графита. Прогрессивное увеличение интерференционных максимумов на рентгеновских дифракционных картинах (и возникновение новых) для изученной гаммы углей, расположенных в порядке нарастающего метаморфизма, свидетельствует о возрастании молекулярной упорядоченности в этом ряду.

Для дифракционной картины антрацита «... характерны совпадение интерференционных полос с линиями графита 002, 100, 004 и 110 и отсутствие отражений с индексами, типичными для «косых» атомных плоскостей кристаллической решетки графита, например 103 и 112» [10, стр. 1324].

«Этот факт — заключает В. Касаточкин, — служит прямым свидетельством того, что в антрацитах, а следовательно, и в углях, отсутствуют области трехмерной упорядоченности атомов углерода в виде кристаллической решетки графита» [стр. 1325], как это допускалось ранее.

Отсюда естественно сделать вывод о качественном, а не только количественном отличии структуры графита от антрацита, т. е. известного скачка между тем и другим. Переход одной структуры в другую требует, повидимому, наличия специальных температурных условий, естественных или искусственных — вывод, к которому приходит и В. Касаточкин [стр. 1325].

Очень интересны данные упомянутой статьи об отдельных компонентах угля: витрене, фюзене и спорах. Характерные для угля в целом молекулярно-структурные превращения при метаморфизме испытывают только витрены. Фюзен характеризуется относительно «... малой взаимной ориентацией атомных сеток углерода» [10, стр. 1333]. Другими словами, он является более устойчивым при метаморфизме. Для спорового же вещества скорость изменения, повидимому, меньше, чем для витрена.

Все эти новые данные, подтверждающие высказывания некоторых ученых в прошлом, например Д. И. Менделеева, о качественном различии структуры антрацита и графита, имеют весьма важное значение и для понимания структуры угольного вещества и ее изменений в процессе метаморфизма.

Совершенно неправильно видеть во всем ряду углефикации нарастание числа графитовых кристаллитов, т. е. молекул или атомов чистого углерода. Напротив, признаки образования элементарного углерода (графита) в углях полностью отсутствуют, так как пространственной (трехмерной) ориентированности решетки, свойственной графиту, здесь не происходит даже в антрацитах.

В природных углях, до антрацита включительно, имеет место лишь усиление плоскостной ориентированности (упорядоченности), а между отдельными параллельными плоскостями решеток остается неупорядоченное вещество при любой степени углефикации. Вероятно, плоскостная упорядоченность связана со статическим давлением вышележащих пород.

Итак, в углях всех марок отсутствуют зародыши чистого углерода или графита. А если это так, то нельзя рассматривать всю эволюцию углей от бурого до антрацита как неуклонное шествие к графиту, как

развитие графитового вещества в угле. Это ныне находится в противоречии с фактами и методически неправильно. Так же неправильно было бы, исходя из того, что всякое живое существо когда-то превратится в труп, видеть в развитии животного мира только шествие к смерти, в каждой стадии жизни — только степень приближения к трупу. Графит не есть кульминационная точка эволюции угольного вещества, а его смерть, т. е. качественное превращение в другое, именно негорючее вещество, превращение органического вещества в неорганическое. Это, несомненно, качественный скачок.

В природе наблюдаются процессы ографичивания антрацитов, обычно в условиях контактного метаморфизма. В последнем теплота Т действует более быстро и кратковременно, чем в условиях регионального метаморфизма, и дает иной результат, как это было показано А. С. Кумпаном [11]. Но это уже начало перехода углей в неугли.

Итак, новые рентгенометрические данные свидетельствуют о постепенном переходе в ряду углей от аморфного к кристаллическому состоянию, но не путем появления отдельных точек кристаллического графита в угле (кристаллитов графита), а в большей степени плоскостной упорядоченности всей структуры в целом.

Сравнение дебаеграмм в гамме углефикации дает А. С. Кумпану возможность предполагать, что усовершенствование метода позволит в будущем оценивать степень углефикации по дебаеграммам.

В. Касаточкин приводит также микрофотометрические кривые рентгенограмм, которые в ряду углефикации, как и дебаеграммы, обнаруживают усложнения. Любопытно, что эти усложнения являются не только в ряду витрена, но и в ряду фюзена (от Д до ПС), хотя и менее отчетливо (рис. 4).

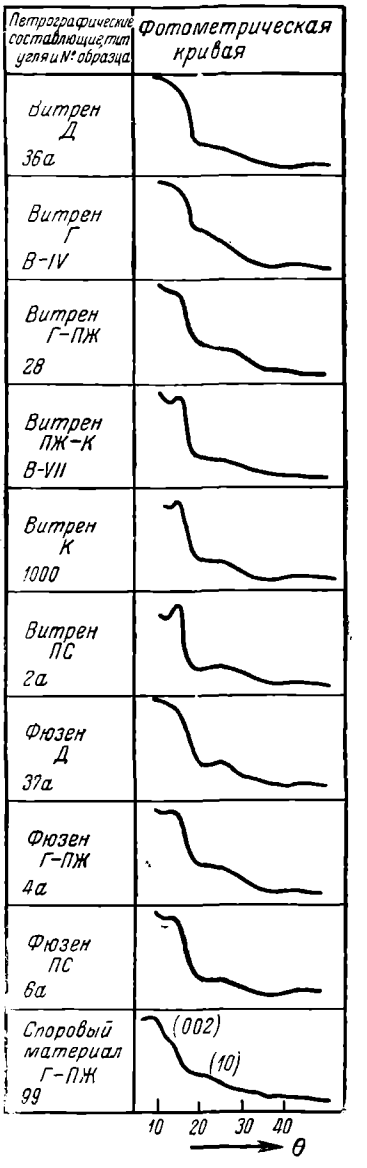


Рис. 4. Микрофотометрические кривые рентгенограмм петрографических составляющих углей (по В. И. Касаточкину)

3. Физические свойства углей

Исследования физических свойств углей значительно пополнились за последнее десятилетие (1941—1951 гг.). Вместе с тем, выяснилось, что не только блеск углей, но и целый ряд других физических и отчасти оптических свойств могут быть использованы для определения степени метаморфизма, а следовательно, и для прогноза качеств углей.

Прежде всего следует отметить работу Л. И. Сарбеевой [15], обобщающую собственный опыт и все работы кабинета петрографии

углей Всесоюзного геологического института (ВСЕГЕИ) в этом направлении.

Бо́льшая часть приводимых данных известна уже по прежним работам Л. И. Сарбеевой и вошла в сводные курсы. Поэтому мы остановимся на некоторых новых моментах, дополняющих предшествующую литературу.

Блеск. Л. И. Сарбеева сопоставляет углефикацию углей с качественной характеристикой их блеска, принятой в минералогии — смолистый, стеклянный, алмазный и металлический, — и располагает угли по отражательной способности (табл. 1).

Таблица 1

Номер образца	Содержание летучих,	Отражатели					
			2	3	4	5	среднее
4	49,06	9,7	10,0	9,8	9,7	10,0	9,80
13	40,97	10,7	11,0	11,0	11,2	11,5	11,09
98	40,46	11,2	11,2	11,5	12,2	12,2	11,70
11	40,09	11,7	11,5	11,7	11,5	12,5	11,80
23	29,75	13,2	13,0	12,5	13,7	14,0	13,35
30	28,80	13,2	13,2	12,7	14,0	13,9	13,40
37	28,61	13,5	13,7	14,0	14,0	14,0	13,87
40	24,77	14,0	14,0	13,7	14,0	14,2	13,98
42	17,56	14,2	14,2	14,5	14,2	15,4	14,55
44	14,18	15,4	16,0	15,7	15,8	16,7	15,97
47	11,70	15,7	16,2	16,0	16,2	17,2	16,30
52	11,50	15,7	16,2	15,5	16,7	17,2	16,35
55	7,65	17,5	17,0	15,7	17,7	17,2	17,05
60	4,58	19,0	18,7	20,0	20,0	20,2	19,85
75	2,45	23,7	23,2	22,2	22,0	23,0	22,85
82	1,50	25,2	25,0	24,0	25,2	25,0	24,90
94	1,50	25,5	25,5	24,0	24,2	25,2	24,90

Сопоставление измерений отражательной способности (блеска) каменных углей от 49 до 1,5% летучих показывает, что изменение блеска (донецких блестящих углей) следует коленчатой кривой. В ней обнаруживаются некоторые скачки: *а*) между 41 и 40% летучих; *б*) между 30 и 25%; *в*) между 17 и 14%; *г*) между 8 и 5% v^r В антрацитах блеск быстро увеличивается.

Отражательная способность увеличивается от длиннопламенных углей до крайних антрацитов с 1,5% летучих (с 10 до 25%).

Цвет угля в куске Л. И. Сарбеева делит на четыре группы:

I — летучих от 49 до 41% — имеет слегка буроватый оттенок, присущий в большей мере споровым элементам;

II — от 40 до 17% — интенсивно черные угли;

III — от 16 до 7% — серовато-черные со слабым серебристо-желтоватым оттенком;

IV — от 6 до 1% — темносерые со слабым золотистым оттенком.

Следует отметить, что, согласно А. Е. Ферсману и таблицы цветов, приведенной у Л. В. Пустовалова (1940 г.), такая последовательность цветов — бурый, черный, серый (серебристый) и золотистый — отвечает шкале понижения окраски.

В том же направлении изменяется и цвет черты углей.

Плотность углей, как и вмещающих угли пород, послужила предметом исследований А. Т Донабедова (1943 г.) Автор [6] поставил своей задачей показать связь физических свойств не только самих

углей, но и главнейших вмещающих пород, как индикаторов степени метаморфизма углей. Его исследования захватили Донецкий бассейн, Подмосковный, Урал, Караганду и Кузбасс.

В одной из более ранних работ по изучению физических свойств пород угленосных бассейнов А. Т. Донабедов по ряду образцов установил связь средней плотности углей с марками углей: Д — 1,16; Г — 1,28; ПЖ — 1,25; К — 1,25; ПС — 1,28; Т — 1,31 и А — 1,53.

Правда, на кривой А. Т. Донабедова такой плавности не наблюдается и есть не вполне понятные отклонения.

Более плавно, хотя все же с отклонениями, получаются цифры для плотности сближенных пластов k_3—k_8 свиты C_2^5, собранных А. Т. Донабедовым в таблицу (табл. 2).

Таблица 2

Угольный пласт	Плотность	Содержание летучих (%) или марка угля	Район и шахта
k_5	1,64	1,77	Должанская, шахта им. Войкова
k_5	1,59	2,27	Шахты, шахта им. Артема
k_5	1,58	2,68	Грушевка, шахта им. Воровского
k_5	1,57	—	Боково-Хрустальская, шахта 1 „Боковая"
k_5	1,53	2,66	Лихая
k_5	1,44	5,29	Чистяково, шахта „Первомайка"
k_4	1,34	Т	Горловка, шахта „Юнком"
k_7	1,28	ПС	Никитовка, пласт Андреевский
k_2	1,26	К	Горловка, пласт Золотарка
k_7^4	1,29	ПЖ	Шахта „Кочегарка"
k_3	1,24	ПЖ	Серго, шахта „Центральная-Ирмино"
k_8	1,14	Д	Лисичанск, шахта „Кременная"

Для вмещающих пород А. Т. Донабедов исходил из средних цифр плотности и пористости, которые он получил независимо от вещественного состава самой породы (песчаников, глинистых пород, известняков), усредняя их различия большим количеством измерений. Полученные цифры, таким образом, указывали на общие тенденции изменения при метаморфизме, но еще не могли служить методом точной диагностики степени углефикации, так как требовали также трудоемких многочисленных измерений.

Однако и полученных данных было достаточно, чтобы сделать вывод [6, стр. 113], что угли бурые, длиннопламенные и газовые каменные встречаются в породах с средней плотностью от 2,15 до 2,35. Угли более высоких (средних) степеней углефикации и хорошо спекающиеся наблюдаются в породах с средней плотностью от 2,35 до 2,60. Наконец, угли тощие и антрациты обнаруживаются в породах с средней плотностью от 2,60 до 2,75.

Более детальные наблюдения в этом направлении помогут установить более точные взаимоотношения углей с вмещающими (например, глинистыми породами), и позволят от плотности этих углей переходить к степени углефикации.

Установление связи и увеличение плотности пород с метаморфизмом углей важно еще в другом отношении. Оно опровергает заключения тех исследователей, которые, подобно Г Л. Стадникову, стремятся отрицать значение метаморфизма в образовании марок углей, приписывая их или различиям в исходном материале или различиям условий первичного превращения в болоте, т. е. различиям фациальным. Между тем, здесь налицо уплотнение пород и другие признаки действия вторичных геологических факторов.

После А. Т. Донабедова вопросом о плотности и пористости вмещающих угли пород занималась Е. А. Перепечина [14]. Она дала следующую схему подразделения пород разной степени метаморфизованности с их диагностическими признаками.

«Группа I — породы, сохранившие облик первоначального осадка. Породы этой группы являются в большинстве рыхлыми или мягкими; они легко распадаются в любом направлении на отдельные составляющие их зерна; глины совершенно мягкие. Лишь изредка, в зависимости от состава, породы группы I могут быть автосцементированы (известняк, известковистый песок и другие).

Группа II. В эту группу объединяются породы уплотненные. Породы этой группы размываются и частично растираются в руках. Как правило, в воде они размокают или рассыпаются на мелкие кусочки (за исключением пород автосцементированных).

Изменения этого рода отчетливо проявляются на породах алевритового и в особенности глинистого состава и почти не обнаруживаются на песках и других более грубозернистых осадках.

Группа III. Сюда объединяются породы плотные, сцементированные. Они подверглись более глубоким изменениям, не выходящим, однако, за пределы низкотемпературных превращений. Эта группа, как правило, не разламывается руками и не размокает в воде.

Группа IV В эту группу выделяются собственно метаморфизованные породы, достаточно резко отличающиеся от предшествующих широко развитым новообразованием вторичных минералов (слюд, хлористых и т. д.) и отчетливым проявлением сланцеватости.

В породах грубозернистых изменения сказываются лишь в частичном появлении вторичных слюд без заметных следов сланцеватости.

Группа V Сюда включены еще более (чем в группе IV) метаморфизованные породы. Диагностическим признаком этой группы пород является более сильная и более тонкая их рассланцованность, заметная даже в крупнозернистых разностях. Для тонкозернистых глинистых пород характерен шелковистый блеск, свойственный филлитам».

Следует отметить, что группа V и отчасти IV включают собственно метаморфические породы; I группа — нормальные осадочные породы; II, III группы — частью измененные — представляют разные и нелегко определяемые степени диагенеза и метаморфизации.

Работой Е. Перепечиной на Уральских месторождениях устанавливается наличие несомненной связи между свойствами углей и вмещающих их пород, причем более метаморфизованным углям отвечают и более метаморфизованные породы. Именно месторождениям бурых углей, таким как Богословское, соответствуют породы II—III групп; Елкинское и Буланашское месторождения — более высокой углефикации (Д и Г) — заключают породы группы III; месторождения тощих и антрацитовых углей (Егоршино, Брединское) содержат породы IV группы, а месторождения с ографиченными антрацитами (Полтавское) характеризуются породами групп IV—V [14, стр. 88—89].

Эти первоначально грубые соответствия требуют дальнейшей методической разработки на основе достигнутого с целью определения критерия (показателя) степени метаморфизованности осадочных пород, пока они не достигли еще стадии собственно метаморфических пород.

Согласно Е. А. Перепечиной, признаки метаморфизма сказываются: 1) на вещественном составе и характере цемента; 2) на текстуре и структуре пород (сланцеватость и др.); 3) на новообразованиях минералов; 4) на физических свойствах. Эти четыре признака и должны прежде всего изучаться.

Такая методика одновременного и параллельного исследования физических свойств пород и их петрографического состава является новым направлением в изучении метаморфизма и заслуживает большого внимания и дальнейшего развития.

Во второй своей работе Е. А. Перепечина на материале по Домбаровскому месторождению антрацитов Урала особенно останавливается на физических свойствах пород и, в частности, на взаимозависимости плотности и пористости песчаников.

При этом выдвигаются следующие закономерности.

1. Домбаровские породы стоят на грани между IV и V группами, ближе к IV. Они заключают новообразованные минералы: серицит для олигомиктовых, серицит, хлорит, хлоритоид и иногда вторичный турмалин.

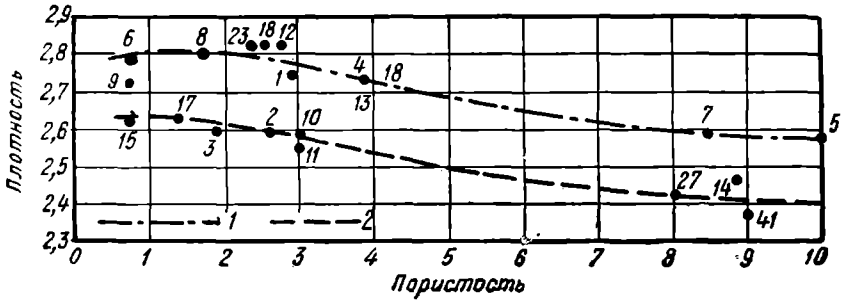


Рис. 5. Взаимосвязь между плотностью и пористостью песчаников Домбаровского каменноугольного месторождения (по Е. А. Перепечиной):
1 — полимиктовые песчаники; *2* — олигомиктовые песчаники

2. Диаграммы плотности и пористости обнаруживают различие для мелкозернистых и крупнозернистых, для олигомиктовых и полимиктовых пород, давая четыре параллельные кривые. При этом плотность полимиктовых пород при той же пористости выше, чем для олигомиктовых (рис. 5)

Кроме того, Е. А. Перепечина делает провизорный вывод «что степень метаморфизма полимиктовых пород Домбаровки выше, чем олигомиктовых».

Такой вывод едва ли будет правильным. Степень метаморфизма углей, олигомиктовых и полимиктовых песчаников и тонкозернистых пород следует считать в одной точке одинаковой. Другое дело показатели, признаки этого метаморфизма, которые в углях и в разных вмещающих породах будут выражены с различной резкостью. Е. А. Перепечина правильно подчеркивает, что различная выраженность метаморфизма тесно связана с вещественным составом пород. Но именно только принятие одинаковой степени метаморфизма разных пород, метаморфизованных в одних условиях, при разных показателях, допускает сопоставление этих разных показателей, как индикаторов степени метаморфизма.

4. Оптические свойства и константы

До сих пор обычно считалось, что наиболее точно отражает степень углефикации, по крайней мере для блестящих углей, количество летучих веществ, рассчитанных на горючую массу, т. е. v^r Это во многих случаях правильно, так как изменение летучих в гамме углей очень широко. Следовательно, v^r — чувствительный показатель. Но все же он зависит не только от степени углефикации, но и от других факторов, в частности от характера и количества форменных элементов, примешанных

к гелефицированному веществу в кларенах, и от характера золы, карбонаты которой выделяют дополнительно летучие вещества (CO_2 и т. п.).

Поэтому всегда наблюдалось стремление найти какие-нибудь оптические или другие петрографические константы для определения степени углефикации. Отчасти таким количественным показателем мог быть блеск углей. Но блеск витрена углей, а тем более сложный клареновый уголь различных мест аншлифа, несколько отклонялись от идеальной кривой. Правда, отчасти это зависело от не совсем подходящей аппаратуры. Поэтому попытка Н. М. Меланхолина [13] в 1949 г. определять степень углефикации путем измерения констант эллиптической поляризации заслуживает большого внимания.

Н. М. Меланхолин приспособил для изучения констант (главный угол падения ψ и главный азимут поляризации) однокружный гониометр снабженный соответственными приспособлениями. Некоторую сложность метода представляет юстировка этого прибора, как и всякого гониометра. В остальном же методика, по словам автора, не представляет затруднений. Полученные величины главного угла падения эллиптической поляризации Н. М. Меланхолин сопоставлял с химическими анализами (табл. 3).

Таблица 3

Номер образца	Тип угля	Содержание летучих, %	Содержание углерода, %	Главный угол падения ψ	Марка угля по спекаемости	Марка по содержанию летучих
3	Полублестящий штриховатый	39,43	81,67	58°18′	Газовый жидкоплавкий	Газовый
2	Блестящий полосчатый	36,62	81,71	58 20	Газовый	
	Клареново-дюреновый полосчатый	34,18	82,80	59 8	"	
4	Полублестящий штриховатый	27,3	86,49	59 27	Коксовый жирный	Жирный
	Блестящий штриховатый	26,95	86,21	59 32	Паровично-жирный	"
6	Блестящий неясно полосчатый	22,76	88,34	60 25	Коксовый жирный	Коксовый
	Блестящий неясно полосчатый	12,53	90,98	61 50	Тощий	Тощий
8	Блестящий однородный	2,91	92,14	64 20	Антрацит	Антрацит

Сопоставление ψ с углеродом и с выходом летучих показывает закономерность изменения этих величин.

Хотя сам автор рассматривает свои опыты как предварительные, требующие систематического продолжения, они являются обнадеживающими и позволяющими присоединиться к основным выводам автора, представленным в виде четырех тезисов.

«1. Главный угол падения у ископаемых углей закономерно возрастает с ростом степени углефикации, а потому может быть использован как константа, характеризующая степень углефикации.

2. Вследствие неизбежного возникновения тончайшей пленки на полированной поверхности угля, измеряемые в нормальных условиях константы эллиптической поляризации не могут быть использованы для вычисления показателей преломления углей.

3. Главный угол падения зависит также и от петрографического состава углей, а потому для получения более надежных результатов он должен измеряться на наиболее блестящих участках шлифа.

4. Примененная нами методика измерения констант эллиптической поляризации достаточно проста и удобна. Гониометр с описанными приспособлениями лучше заменить специальным прибором, что повысит надежность измерений».

К сожалению, работа Н. М. Меланхолина еще не доведена до той степени детальности и конкретности, чтобы начать внедряться в практику определения степени углефикации по константам эллиптической поляризации. Давая несколько цифр вычисленных[1] показателей преломления (1,782 для газового угля; 1,890 для коксового; 1,977 для тощего и 2,045 для антрацита, с 3% летучих), Н. М. Меланхолин, между прочим, делает замечание о том, что обычные способы полировки «. .не позволяют удалить поверхностную пленку в такой степени, чтобы дать возможность определить показатель преломления угля на основе измерений в отраженном свете» [13, стр. 123]. Вычисленные величины получаются ниже истинных.

В последнее время Н. М. Крылова, изучая оптические свойства углей, разработала новый метод определения степени углефикации, а следовательно, и марки клареновых углей. Основу метода составляет измерение показателей преломления углей в тонких порошках.

На основании работ Н. М. Крыловой установлено, что этот показатель растет довольно равномерно, по крайней мере в пределах от газовых углей до тощих (от 40,5 до 7,5% летучих веществ). Именно он увеличивается в пределах от 1,82 до 2,04 (на 0,22), т. е. весьма заметно.

Наложение всех измерений на диаграмму, сопоставляющую летучие вещества $v^{\text{г}}$ с показателями преломления, показывает, что цифры измерений располагаются с небольшими отступлениями в виде прямой линии. Поэтому исследователь дает диаграмму (номограмму), по которой можно непосредственно графически определить количество $v^{\text{г}}$ исходя из данной величины наблюдений показателя преломления.

Такого же результата можно достигнуть и вычислением на основании эмпирической формулы, предложенной Н. М. Крыловой.

Эта формула после ряда преобразований получает следующий вид:

$$v^{\text{г}} \quad 313{,}5 \quad 150N, \tag{1}$$

где $v^{\text{г}}$ искомое количество летучих веществ;

N — показатель преломления, исчисленный с точностью до 0,01.

Так, например, при $N = 1{,}92$ получим:

$$v^{\text{г}} = 313{,}5 - 150 \times 1{,}92 = 313{,}5 - 288 = 25{,}5. \tag{2}$$

Этот уголь с 25,5% летучих веществ будет относиться к группе коксовых, близких к паровично-жирным.

По формуле (1) можно составить таблицу для всех значений показателя преломления от 1,82, отвечающего 40,5% летучих веществ (газовые угли), до 2,04, соответствующих 7,5% летучих (тощие угли). Вычисленное по таблице количество летучих отличается менее чем на 1% и чаще не более 0,5% от действительных определений химическим анализом.

Таким образом, предложенный Н. М. Крыловой метод является достаточно точным и быстрым.

Учитывая быстроту получения результатов, метод марочного определения может получить для блестящих углей широкое распространение. Он явится тем точным и объективным, т. е. количественным и дробным

[1] Вычисления производились по углу максимальной поляризации.

методом определения степени углефикации, который до сих пор отсутствовал.

Показатель преломления может оказаться именно показателем степени углефикации, независимым от некоторых генетических различий в углях, и в дальнейшем сыграть роль углефикационной константы при определении метаморфизма.

Таким образом, в области определения степени метаморфизма наметился большой сдвиг за последнее десятилетие, а петрографические методы измерения углефикации получили большее распространение и стали проникать все больше и больше в углехимические институты (ВУХИН, УХИН и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое значение изучения метаморфизма углей. Нерешенные проблемы

Из предыдущего изложения с очевидностью вытекает, что истекшее с начала войны десятилетие (1941—1951 гг.) было весьма продуктивным в смысле изучения метаморфизма углей или, по крайней мере, в смысле завершения и оформления результатов этого изучения.

В региональном плане наука обогатилась обстоятельными трудами В. И. Яворского, Н. В. Шабарова, И. И. Горского, А. З. Широкова и других исследователей наших основных каменноугольных районов. Эти работы выявили закономерную зональность в распределении степеней метаморфизма и марок углей в Кузбассе, Донбассе, на Урале и в Средней Азии. Попутно они дали большой материал для уяснения отдельных геологических факторов метаморфизма углей.

Все эти данные легли в основу настоящих и будущих прогнозов качественной характеристики углей в неразведанных или еще недостаточно освещенных районах этих бассейнов или прогнозов на глубину.

В этом — основное их практическое значение. Знание направленности и темпа изменений поможет предсказать как расширение, так и ограничение возможности использования угля в качестве определенного сырья (для коксования, полукоксования и т. д.).

Степень углефикации имеет тесную связь с маркировкой углей, хотя последняя, кроме метаморфизма, должна учесть и тип угля. Для блестящих и полублестящих типов углей степень углефикации более или менее близко определяет их марки. В других углях с меньшим количеством блестящего вещества эта связь более сложная и практическая ценность накладывающейся углефикации может быть уменьшена и даже сведена почти к нулю (например, в фюзеновых углях).

Таким образом, геологические предпосылки и факторы метаморфизма углей наряду с их петрографической характеристикой сразу указывают, на какие угли в данном районе возможно и нужно ориентировать поиски и какие марки углей здесь вовсе исключены. Например, в условиях платформы с отсутствием относительно молодых изверженных пород тщетно искать коксовые угли или антрациты. Наоборот, в условиях окраин геосинклиналей, передовых прогибов и т. п. мы вправе ожидать встретить каменные угли средних и высших степеней углефикации с зональным расположением, связанным с тектонической структурой.

В большом и сложном угленосном районе (Урал, Средняя Азия) пространственное распределение углей в смысле метаморфизма будет весьма сложным. Могут обнаружиться районы со своими, более частными, закономерностями: выдержанность степени углефикации во всей полосе или постепенное ее изменение (т. е. зональность второго порядка и т. д.).

Столь же большое практическое значение имеют изыскания, применение и проверка на практике различных методов измерения степени метаморфизма (углефикации), в частности петрографических и особенно оптических.

С этой точки зрения заслуживают внимания предложения Н. М. Меланхолина и Н. М. Крыловой. Они сводятся к определению оптических констант в поляризованном свете и подчеркивают анизотропность гелефицированного угольного вещества.

Метод Н. М. Меланхолина — измерение главных углов эллиптической поляризации, — по крайней мере в его современном виде, представляется более сложным и менее разработанным. Наоборот, метод Н. М. Крыловой (по показателю преломления) не только более отчетливо выявил связь этой константы с углефикацией, но показал простую линейную зависимость между изменением показателей преломления и количеством летучих веществ, дал диаграмму (номограмму), эмпирическую формулу и таблицу для перехода от непосредственно измеренных с точностью до 0,01 показателей преломления N к количеству летучих веществ с точностью до 0,5%. Расхождение с данными химанализа обычно не превышает (для клареновых углей) этой цифры.

Метод достаточно прост и позволяет производить несколько определений (три-четыре) в час. Он представляется уже достаточно разработанным для внедрения его в разведочную и поисковую практику.

Появление нового метода, учитывая его простоту, точность и дешевизну по сравнению с химическими и даже техническими анализами, представляет большое достижение.

Таким образом, за последнее десятилетие в исследования по метаморфизму углей советскими геологами внесен значительный вклад.

Однако все же в этой проблеме остается много неизученных сторон и нерешенных вопросов. Не изучено с должной детальностью и объективностью влияние на метаморфическое развитие угольного вещества первичной дифференциации вещественного состава еще в торфяной стадии. Чтобы это сделать, нужно тщательно выбрать объекты и проследить изменение каждого выбранного типа растительного вещества, по возможности, во всех стадиях углефикации для их параллельного сравнения. Пока более или менее четко наметилось развитие в эволюции витрена (кларена) и фюзена.

Исследователи, занимающиеся изучением химического состава отдельных составных частей угля, обычно не проделывают этой систематической работы во взаимосвязи и нередко поэтому приходят к выводу о независимости различия марок углей от метаморфизма. Такой вывод поэтому становится неубедительным и метафизическим по существу. Чтобы доказать его, необходимо проследить изменение каждого вещественного типа во всех стадиях углефикации.

Здесь большое поле исследования принадлежит угле- и торфохимикам. Эффективность их работ определится в значительной степени умением учесть соответственные данные угольной геологии и углепетрографии.

Другой, еще недостаточно исследованный вопрос относится непосредственно к геологии. Если основное влияние регионального метаморфизма можно считать в большинстве случаев доказанным, то еще не вполне ясно, является ли региональный метаморфизм полностью доорогенным, т. е. зависит исключительно от глубины погружения, или он дифференцируется еще сильнее во время начавшейся складчатости в геосинклинали со всеми магматическими и геотермическими последствиями этой складчатости.

Количественно этот вопрос не разработан и потому пока очень трудно отделить такую возможность от чистого динамо-метаморфизма, связанного с динамическими напряжениями во все время складчатости (синорогенными).

Не выяснена роль температуры в образовании и изменении углей в зависимости от различия в статическом и динамическом давлени и т. д.

К сожалению, нигде не ставятся специальные исследования по метаморфизму углей, что необходимо именно для методической правильности и рационального выбора систематически изучаемого материала.

Однако широкое развитие комплексных исследований, введение новых методов для изучения углей и расширение угольной базы несомненно приведут к новым достижениям угольной геологии и в проблеме метаморфизма углей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аммосов И. И., Метаморфизм углей Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузнецкого угленосного бассейна, Известия АН СССР, геологическая серия, 1941, № 6.
2. Аммосов И. И., Метод составления зональных карт метаморфизма, Сообщение 1, Известия АН СССР, ОТН, 1944, № 10—11.
3. Аммосов И. И., О генезисе угля Ленинского месторождения Кузбасса, изд. АН СССР, 1945.
4. Горский И. И., Геологические условия формирования угольных месторождений Урала и связанные с ними особенности геологического строения месторождений, Известия АН СССР, серия геологическая, 1943, № 4—5.
   Горский И. И., Геологические факторы метаморфизма углей Урала и возможное распространение различных марок, Известия АН СССР, серия геологическая, 1943, № 6.
6. Донабедов А. Т., Физические свойства горных пород угленосных месторождений, как индикаторы степени метаморфизма углей, Известия АН СССР, серия геологическая, 1943, № 4—5.
7. Ергольская З. В., Выяснение изменчивости углей Кузнецкого бассейна на основе углепетрографических исследований, Советская геология, 1945, № 2.
8. Жемчужников Ю. А., Углефикация и метаморфизм углей, Известия АН СССР, серия геологическая, 1952, № 1.
9. Жемчужников Ю. А., Зональность метаморфизма углей, как метод расшифровки тектонической структуры (на примере Южно-Уэллского угольного бассейна). Известия АН СССР, серия геологическая, 1952, № 4.
10. Касаточкин В. И., Некоторые вопросы исследования тонкой структуры ископаемых углей, Известия АН СССР, ОТН, 1951, № 9.
11. Кумпан А. С., Изменение внутренней структуры углей в процессе метаморфизма, Записки Всесоюзного минералогического общества, 1948, ч. XXVII, № 4.
12. Матвеев А. К., О геологических факторах и времени их появления в процессе метаморфизации углей, Геологический журнал АН УССР, 1940, т. VII, вып. 1—2.
13. Меланхолин Н. М., Определение степени углефикации ископаемых углей путем измерения их констант эллиптической поляризации, Известия АН СССР, серия геологическая, 1949, № 5.
14. Перепечина Е. А., К вопросу о связи между степенью метаморфизма углей и вмещающих пород в угольных месторождениях Урала, Известия АН СССР, серия геологическая, 1943, № 4—5, стр. 82—97.
15. Сарбеева Л. И., Определение метаморфизма углей по физическим и петрографическим признакам, Гостоптехиздат, 1943.
16. Травин А. Б., К вопросу о метаморфизме ископаемых углей, Труды Горно-геологического института, изд. Западно-Сибирского филиала АН СССР, вып. 10, палеонтологический, Новосибирск, 1950.
17. Шабаров Н. В., Зональное распространение углей различных марок в Киргизской, Узбекской, Таджикской ССР, Госгеолиздат, 1947.

Поступило 5.I.1952 г.