



УДК 553.94/96+553.98

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ УГЛЯ. УГЛЕНОСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ

Скурский М.Д.

Забайкальский государственный университет



Информация о статье

Поступила:

17 сентября 2021 г.

Рецензирование:

30 марта 2022 г.

Принята к печати:

15 июня 2026 г.

Ключевые слова:

формация, угольный бассейн,
угольное месторождение,
угленосная толща, фация,
угленакопление,
углеобразование, пликативные
нарушения, дизъюнктивные
нарушения, геологическое
строение, тектоническая
сложность, строение угольных
пластов, метаморфизм угля

Аннотация.

В данной работе выполнено обобщение сведений об угленосных геологических формациях, охарактеризовано геологическое строение угленосных формаций (толщ) бассейнов, месторождений, приведены условия их образования, закономерности размещения; описана классификация осадочных угленосных формаций применительно к тектоническим условиям их формирования; охарактеризованы палеогеографические и фациальные условия образования осадочных угленосных формаций. Установление формационной принадлежности угленосной толщи дает возможность предсказать многие общие черты угольных пластов и свойств углей. Наряду с этим качество углей близких по формационному типу бассейнов и месторождений может иметь свои весьма существенные отличия, что связано с различиями в возрасте стратиграфических подразделений угленосной толщи, в конкретной последовательности изменения фаций и обстановок угленакопления и т.п. В пределах одной и той же формации признаки угольных пластов и углей значительно изменяются как в разрезе, так и на площади. Приведен ряд определений и понятий, поясняющих дальнейшее изучение данного вопроса. Подробно изучены основные региональные закономерности распределения угля на Земле, исторические этапы углеобразования, приведен краткий перечень основных угленосных бассейнов, площадей, провинций. Кроме этого, в работе описаны свойства угольных пластов и их строение, а также морфология и условия залегания.

Для цитирования: Скурский М.Д. Региональная геология угля. Угленосные геологические формации // Техника и технология горного дела. – 2026. – №2(33). – С. 59-108. – DOI:10.26730/2618-7434-2026-2-59-108, EDN: AONZCW

Угленосные геологические формации, тектонические, палеогеографические и фациальные условия их образования

Понятия «геологическая формация», «угленосная геологическая формация», «угленосная толща»

Существует несколько трактовок термина «геологическая формация» [1-4].

Геологическая формация – естественное сообщество горных пород, возникающее в определенной геологической обстановке и отвечающее определенному этапу развития того или иного участка земной коры [1].

Геологическая формация – сообщество генетически взаимосвязанных друг с другом горных пород одинакового происхождения [2].



Геологическая формация – это статистически устойчивое, часто повторяющееся в природе закономерное сообщество горных пород, связанных общей структурой, зональностью, ритмичностью [3].

Чаще геологическая формация определяется как региональный парагенезис генетических типов отложений, отвечающий той или иной геологической обстановке (фации) образования. Таковы флиш, моласса, рифовые, вулканические и другие геологические формации [4].

Формация – это парагенетическое сообщество фаций (пород), более или менее устойчивых во времени и пространстве [5].

Все эти определения дополняют друг друга и создают четкое представление о геологической формации. В иерархии геологических тел формация занимает положение после минералов и горных пород: минерал → горная порода → формация.

Различают следующие генетические группы геологических формаций: эндогенные и экзогенные.

Угленосные формации принадлежат группе экзогенных геологических формаций и относятся к осадочному генетическому классу.

Угленосная толща с заключенными в ней угольными пластами представляет собой естественную парагенетическую ассоциацию, то есть является типичной формацией. Формально угленосная толща и угленосная формация большей частью одно и то же – по существу, разница заключается в подходе: угленосную толщу обычно рассматривают в пределах сохранения ею промышленной ценности; там же, где в ней прекращаются пласты угля, она не привлекает внимания [6].

Термином «угленосная геологическая формация» определяется сложно построенное геологическое тело, отражающее историческое развитие данного района и состоящее из чередующихся преимущественно ритмически повторяющихся различных по фациальной принадлежности и литологическому составу пластов, в том числе пластов угля, образовавшихся в парагенетически связанных обстановках [7].

Угленосные формации – это сероцветные, гумидные, в основном, песчано-глинистые полифациальные осадочные формации, сложенные специфическими ритмами пород и генетически с ними связанными пластами угля [8].

Угленосная формация – это комплекс угленосных пород, отражающий собой естественно-историческую ступень геологического развития, характеризующуюся взаимосвязанными флористическими (развитием растительности), геоморфологическими, геотектоническими, фациальными и литологическими предпосылками, а также своеобразием приуроченных к ним парагенетических формаций [9].

Исследователями давались различные определения угленосных формаций – и короткие простые, и развернутые сложные. Однако все геологи единодушно признавали полифациальность угленосных формаций. Поэтому угленосная формация – это в основном сероцветная песчано-глинистая полифациальная осадочная формация, заключающая пласты угля [10].

Угленосные формации как геологические тела характеризуются генетическим сочетанием следующих признаков:

1) полифациальным составом с преобладанием осадков широких отмельных побережий (лагунно-морских, лагунно-озерных или внутриконтинентальных болотно-озерных) с подчиненным количеством дельтовых, речных и других отложений; 2) как правило, четкой ритмичностью нескольких порядков, в которой наиболее легко фиксируются специфические основные фациально-геотектонические ритмы (первого порядка) с чередованием в них не менее пяти литологических типов пород, соответствующих последовательности расположения фаций той обстановки, где образуются формации; 3) дисимметричным (с различной степенью асимметрии) строением основных фациально-геотектонических ритмов (первого порядка), фиксируемых по соотношению трансгрессивных и регрессивных наборов слоев, при мощности основных ритмов в пределах единиц – первых десятков метров; 4) наличием раннедиагенетических концентраций закисно-железистых минералов и обычно карбонатов кальция, закономерно распределенных в ритмах в форме конкреций и цемента.



Угленосные формации как геологические тела образуются при благоприятном для углеобразования взаимодействии палеогеографических и геотектонических факторов в различных (глубоких, средних и малых) по глубине волновых прогибах [8].

Учитывая различные толкования термина «фация» в геологической литературе, важность этого понятия в углегеологии, и конкретно в формационном анализе, остановимся на собственно определении термина «фация». В самом кратком определении фация – это тот наименьший участок или зона фациальной обстановки, где сохраняются одни и те же физико-географические условия и где отлагается осадок, фиксирующий эти условия в присущих ему признаках. Нет фации самой по себе без фациальной обстановки, как нет и фациальной обстановки, которая бы не заключала закономерный набор-комплекс фаций.

Многие геологи под фацией понимают физико-географические условия образования осадков, то есть останавливают свое внимание, главным образом, на том, что интересует географов. Однако большой интерес должны представлять не столько физико-географические условия, сколько образующиеся в них осадки, которые в дальнейшем перейдут в ископаемое состояние – горную породу.

Современную фацию можно детально изучать как физико-географические условия (замерять глубину, силу течения или волнения, степень солености и др.) и как осадок, образовавшийся в этих условиях. Его можно взять в руки и пощупать, изучить его гранулометрию, типы сложности, заключенные в нем фауну, флору и пр.

Название фации как осадка дается по гранулометрическому составу, по активности динамики, при которой он образовался, но с обязательным указанием фациальной обстановки. Как известно, нет песчаных, алевритовых и других фаций, но есть песчаные русловые, песчаные баровые, алевритовые морские и другие фации. То есть фация – это комплекс характерных особенностей условий (обстановок) осадконакопления, отображенных в конкретных отложениях. Эту точку зрения разделяют Д.В. Наливкин, Н.Б. Вассоевич, Н.М. Страхов, Ю.А. Жемчужников, В.И. Попов, Н.В. Логвиненко и другие [11].

Геологическая осадочная формация, геологическая осадочная угленосная формация состоят из комплекса фаций. Такова таксономическая последовательность: фация → формация [8]. Уголь, точнее угольный пласт, можно рассматривать как фацию, занимающую свое место в конкретной обстановке углеобразования.

В составе формации угольный пласт представляет собой существенно органическую парагенерацию, которая по уровню организации вещества в значительной мере отличается от вмещающих пластов – слоев неорганического состава. Но в то же время пласт угля, как и пласты вмещающих пород, является элементом ритмов осадконакопления (элементарных циклов) первого порядка, нахождение в которых определяет все внутренние черты строения пласта угля (сложность строения, мощность, протяженность, форму, петрографический состав, зольность и пр.).

Месторождения угля – это есть закономерно (парагенетически), пространственно связанные части определенных экзогенных угленосных осадочных геологических формаций. Это продукты указанных геологических формаций, являющихся критерием поисков месторождений угля.

Принадлежность месторождений угля к той или иной экзогенной осадочной геологической угленосной формации отражает не только типизацию условий их образования, но и свидетельствует об их масштабах, промышленной перспективности, морфологии угольных пластов и, как следствие, методах поисков, разведки и даже разработки. То есть типизация угольных месторождений по геологическим формациям происходит не только на вещественной, генетической основе, но и вместе с тем по их геолого-промышленной значимости.

От особенностей угленосной геологической формации зависит качество углей. Формационные критерии имеют большое значение для прогнозирования их качества. Наибольшее значение имеют: мощность формации и ее изменение в пространстве, литолого-фациальный и геохимический состав пород, отражающие палеогеографическую обстановку угленакопления, особенности ритмичности отложений, обусловленные геотектоническим режимом осадконакопления, характер дислоцированности формаций и проявления магматизма.



Для прогнозирования этой практически чрезвычайно важной изменчивости свойств углей внутри формации используется комплекс методов, связанных непосредственно с изучением угольного вещества и угольного пласта [12].

Н.В. Иванов [10] полагает целесообразным различать два типа границ угленосных формаций: генетические и промышленные. Генетическими границами угленосной формации являются: по вертикали - положение самого нижнего и самого верхнего генетического комплекса слоев - ритма, имеющего признаки угленосности, и по латерали - выклинивание этих комплексов в сторону неугленосных вмещающих формаций. Промышленные границы угленосной формации – первый и последний в разрезе кондиционные пласты угля и линии, ограничивающие зоны распространения кондиционных пластов угля по латерали.

В угольной геологии термин «угленосные геологические формации» имеет чаще употребляемые синонимы «угленосная толща» и «угленосные отложения» [13]. Толща – стратиграфический термин свободного пользования [14].

Типы угленосных формаций выделяют по многим признакам: геоморфологическому, стратиграфическому, географическому, вещественному составу, условиям образования. В соответствии с этим формациям придаются названия, например, морская, континентальная, озерно-болотная, паралическая, глинистая, песчаная, Тургайская, Канско-Ачинская и т.д.

Среди угленосных отложений преобладают песчаные породы, реже аргиллиты (глины), алевролиты (алевриты) и др.

Почвой и кровлей пласта очень часто служат глинистые и алевроитовые породы [15].

Формирование строения и мощности угольных пластов осуществляется на стадии образования торфяника.

Наиболее благоприятны для углеобразования прибрежно-морские, в том числе лагунные, и прибрежно-континентальные условия. В них угольные пласты образуются на протяжении десятков, а в некоторых бассейнах (как, например, в Донецком, Аппалачском) сотен и более километров, нередко сохраняя свои строение и мощность.

Протяженность пластов углей внутриконтинентального происхождения обычно не превосходит десятка километров.

Тектонические условия образования осадочных угленосных формаций

Геотектонические процессы определяют условия накопления угленосных геологических формаций и их последующее преобразование в процессе литогенеза. Говоря о роли факторов, контролирующих накопление и сохранение угленосных формаций как геологических тел, имеющих мощность тысячи метров, следует в первую очередь назвать общее тектоническое прогибание области осадконакопления [16].

По тектоническим условиям образования выделяются следующие генетические группы осадочных угленосных формаций и связанных с ними угольных бассейнов и месторождений: геосинклинальные, платформенные, переходные – передовых (краевых) прогибов платформ.

Максимум угленакопления соответствует орогеническим эрам в геосинклиналях с наиболее интенсивными фазами складчатости. Минимумы угленакопления соответствуют периодам трансгрессий и ослабленным явлениям складчатости [17].

Детализированные генетические классификации угленосных формаций и бассейнов по геотектоническим режимам и палеогеографическим обстановкам выполнены Г.А. Ивановым (1959), А.В. Македоновым, А.Б. Гуревичем и др. (1983). Из всего разнообразия частных и общих классификаций угленосных формаций наиболее полной и относительно более совершенной является классификация угленосных формаций, предложенная Г.И. Ивановым [13], табл. 1.

Позднее появилась классификация В.М. Богомазова, Н.В. Иванова, Г.Д. Петровского (1985), табл. 2. Авторские представления излагаются ниже текстом.

По представлениям некоторых исследователей (Е.О. Погребницкий, Н.И. Погребнов, К.В. Миронов) Донецкий бассейн относится к парагеосинклинальному типу формаций.

Геосинклинальные осадочные угленосные формации образуются в геосинклинальных областях в условиях дифференцированных тектонических движений большой амплитуды.



Поэтому они обладают значительной мощностью, но быстро изменяются вкrest простираения складчатой системы.

С геосинклинально-складчатыми областями, их угленосными геологическими формациями связаны месторождения угля Донецкого, Кузнецкого и ряда других угольных бассейнов. В этих областях угленосные формации и месторождения угля формируются в орогенных межгорных прогибах в эволюционные периоды между эпохами складчатости преимущественно в прибрежно-морских условиях. Орогенные прогибы – это группа отрицательных структур, составляющих слитную зону или чаще ряды впадин. Протяженность орогенных прогибов десятки и сотни километров, ширина – единицы и первые десятки километров [14]. Они обычно располагаются на границе контрастно-сопряженных поднятий и опусканий вдоль зон разломов. Орогенные межгорные прогибы образуются как в поздне- и постинверсионные стадии развития подвижных (геосинклинальных складчатых) областей, так и раннеорогенные (раннескладчатые) и нередко унаследуют простираение собственно геосинклинальных структур. Они сосуществуют с постепенно отмирающими остаточными геосинклиналями (морскими бассейнами) и с формирующимися складчатыми зонами, вовлекающимися в поднятия с локальным горообразованием. Для этих прогибов характерны геологические формации нижних моласс (морские, пестроцветные, угленосные), флишеидные и эвапоритовые [14].

Молассы – это известковистые песчаники, мергели, конгломераты, глинистые песчаники. Флишеиды – это чаще ритмично чередующиеся пачки песчаных и глинистых пород (преимущественно песчаников, алевролитов, аргиллитов). Эвапориты (эвапоритовые осадки): соли, в частности галит NaCl, ангидрит CaSO₄, калийные соли и др., некоторые известняки, доломиты.

Таблица 1. Схема генетической классификации угленосных формаций (по [13])

Table 1. Schematic representation of the genetic classification of coal-bearing formations (based on [13])

Подразделения	Угленосные формации					
	Геосинклинальная			Промежуточная	Платформенная	
	эвгео- синклинальная	передовых и аналогичных им прогибов	миогео- синклинальная		древней платформы	молодой платформы
Типы (по геотектони- ческому режиму)	прогибов центральных, наиболее подвижных зон геосинклиналей межгорные	внутренних и передовых (краевых) прогибов	внешних прогибов	промежуточных прогибов	внутренних и внешних устойчивых или подвижных (активизиро- ванных) прогибов (по форме)	разнообразных приразломных, унаследованных прогибов, в соляно- купольных структурах и др.
подтипы (по общему ландшафту) виды (по общей преобладающе й фациальной обстановке)	прибрежно- морские	межгорные и предгорные от прибрежно- морских и прибрежно- бассейновых (в основном лагунных) до прибрежно- континенталь- ных (устьевых частей и дельт рек)	предгорные прибрежно- морские; прибрежно- континенталь- ные	межгорные от прибрежно- бассейновых (в основном лагунных) до внутри- континенталь- ных	равнинные и предгорные прибрежно- морские; прибрежно- континентальные	межгорные внутри- континентальные
типичные примеры	месторождения восточного склона Урала, Род-Айленд	Кузнецкий, Карагандин- ский, Донецкий, Печорский, Рурский, Аппалачский бассейны и др.	Кизеловский бассейн	Минусинский, Улугхемский, Буреинский бассейны	Подмосковный, Тунгусский, Канско-Ачинский, Днепропетровский	Кузнецкий, Челябинский, Южно-Уральский бассейны и др.



Таблица 2. Типизация угленосных формаций (по [18] и др.)
Table 2. Typology of coal-bearing formations (based on [18] et al.)

Группа (тектонический режим)	Подгруппа (стадия развития)	Тип (палео-тектоническая структура)	Вещественный состав	Пример
Геосин-клиальная	позднегео-синклинальная (инверсионная)	внутренних прогибов	вулканогенно-глинисто-алеврито-песчаная, слабоугленосная, угли К-А	месторождения Северного Прибалхья и Южной Джунгарии (Баласаранское)
			вулканогенно-галечно-песчаная, слабоугленосная, угли БД-А	месторождения Амура-Зейского прогиба (Толбузинское и др.)
			глинисто-алеврито-песчаная, слабоугленосная, угли Г-А	месторождения Восточно-го Урала (Егоршинское и др.)
		внешних прогибов	вулканогенно-песчано-алевритовая, среднеугленосная, угли А-Д	Приморский бассейн, Омсукчанская площадь, Иджеванское месторождение
			песчано-алеврито-глинистая, среднеугленосная, угли Г-Ж	Кизеловский бассейн
			карбонатно-галечно-глинисто-песчаная, слабоугленосная, угли Г-Ж	Берчогурское месторождение
Орогенная	ранне-орогенная	краевых (передовых) прогибов	карбонатно-глинисто-алеврито-песчаная, высокоугленосная, угли Д-А	Донецкий бассейн
			глинисто-алеврито-песчаная, высокоугленосная, угли Д-А	Кузнецкий бассейн
			конгломерато-углисто-алеврито-песчаная, высокоугленосная, угли Б-А	Печорский, Карагандинский, Ленский (восточная часть) бассейны
		остаточных прогибов	глинисто-алеврито-песчаная, высокоугленосная, угли Д-А	Зырянский, Горловский бассейны
		наложенных прогибов	туфогенно-галечно-глинисто-алеврито-песчаная, слабоугленосная, угли Д-Ж	Бескарагайское месторождение Северного Кавказа
		наложенных прогибов	галечно-глинисто-алеврито-песчаная, слабо-, среднеугленосная, угли ОС-А	Белокаменское месторождение
	поздне-орогенная	межгорных прогибов	глинисто-алеврито-песчаная, слабо-, среднеугленосная, угли ОС-А	Кокпектинское, Буконьское месторождения
			алеврито-песчано-галечная, слабоугленосная, угли Б-Г	Кендерлыкское, Белогорское месторождения
		наложенных прогибов линейного типа	песчано-глинисто-алевритовая, слабоугленосная, угли от К до Т-А	месторождения Чингизской группы
		наложенных прогибов брахиформного типа	глинисто-алеврито-песчаная, средне-, высокоугленосная, угли Д-Т	Экибастузский, Минусинский бассейны, месторождения Акжар, Борлы и др.
Платформенная	молодых платформ	наложенных впадин относительно подвижных зон	глинисто-алеврито-песчаная, средне-, высокоугленосная, угли Б	Ленский (западная часть) бассейн
		прогибов относительно устойчивых зон	песчано-глинистая, слабо-, среднеугленосная, угли Б-Г	Челябинский, Тургайский, Майкюбенский бассейны
		прогибов стабилизированных зон	песчано-глинистая, слабо-, среднеугленосная, угли Б	Жиланшиковский, Канско-Ачинский (западная часть) бассейны
	древних платформ	прогибов краевых систем	глинисто-песчаная, слабо-, среднеугленосная, угли Б	Подмосковный, Тунгусский бассейны
		наложенных впадин и депрессий	глинисто-алеврито-песчаная, слабо-, среднеугленосная, угли Б-Д	Печорский (западная часть), Камский бассейны
		наложенных впадин и депрессий	песчано-глинистая-алевритовая, средне-, высокоугленосная, угли Б	Канско-Ачинский (восточная часть), Иркутский бассейны
Пост-консолида-ционной активизации	активизированных древних платформ	прогибы активизированных зон	вулканогенно-галечно-песчаная, средне-, высокоугленосная, угли Б-Г	месторождения Забайкалья
		прогибы особенно активизированных зон	глинисто-алеврито-песчаная, высокоугленосная, угли Г-Т	Южно-Якутский, Улугхемский бассейны



Угленакпление в тектонически активных площадях геосинклиналей (орогенных межгорных прогибах) и его особенности

Здесь ландшафтно-тектонические обстановки образования угольных месторождений весьма разнообразны. Среди них отчетливо различаются две группы углеобразующих ландшафтов. Одни из них локализованы на территориях тектонически активных, то есть интенсивных движений земной коры, другие – напротив, на площадях с пассивным тектоническим режимом.

Первые могут быть условно названы орогенными (гористыми) углеобразующими ландшафтами, вторые – эпейрогенными (равнинными). При этом внутри каждой группы различаются два гомологических ряда: одни ландшафты – приморские (паралические), другие – удаленные от моря, внутриконтинентальные (лимнические).

Типичная особенность паралических орогенных ландшафтов - наличие наклонной к морю равнины перед воздымающимися горными цепями центральных частей морских (геосинклинальных) зон. Иногда эти ландшафты целиком совпадали с собственно предгорным краевым прогибом (Донбасс), но чаще заходили на прилегающие части платформы (Западная Европа). Породы, слагающие угленосные межгорные геосинклинальные формации, представляют собой частью конуса выноса потоков, сбегаящих с окружающих депрессии (впадины) возвышенностей, частью отложения речных долин и озерных бассейнов и болот центральных частей депрессий. Межгорный ландшафт был свойствен Кузбассу в эпоху отложения его верхних (пермских) угленосных толщ – ильинской и ерунаковской. Он представлял собой обширную межгорную проточную впадину. Ее центральные части были заняты пресным водоемом типа современного Ладожского озера.

В бассейнах геосинклинального типа осадки различных возрастов залегают в общем согласно. Фациальный их состав преимущественно мелководный. Среди мощных отложений геосинклинального типа угленосные составляют значительную часть и нередко имеют мощность несколько километров.

В мощных толщах угленосных отложений, главным образом песчано-глинистых, известняки и угли составляют 1-2%. Характерно присутствие типично морской и солоноватоводной фауны. Количество пластов и пропластков угля значительно и более или менее равномерно распределяется по всей угленосной толще, но пласты преимущественно маломощные: из сотен пластов и пропластков палеозойской толщи Донецкого бассейна рабочей мощности достигают 30-40. Угли здесь почти исключительно гумусовые. По характеру накопления главным образом автохтонные (местного, не перемещенного происхождения) и выдерживаются по мощности на значительных расстояниях. Химический состав углей одного и того же пласта более или менее постоянен. Содержание золы и серы резко не меняется [17].

Следует особо подчеркнуть, что для геосинклинальных угольных бассейнов характерным является очень большая (до 10 км) мощность угленосных отложений с частой перемежаемостью пород различного состава, значительное (до нескольких сотен) количество пластов каменных углей умеренной мощности, их устойчивость, а также отчетливо выраженная линейная складчатость, сочетающаяся с разрывами. Как правило, наблюдается зональность метаморфизма углей по вертикали и площади [19].

Угленосные отложения геосинклинальных областей чаще приурочены к тем их частям, где происходит непрерывная смена морских и прибрежно-континентальных условий. Благодаря тому, что эти отложения формируются в полосе частой смены то морских, то континентальных условий, осадки здесь отличаются большой пестротой и многообразием фаций, и среди них можно встретить самые различные по условиям образования породы, например известняки и угли. Фауна в этих отложениях представлена как типично морскими, так и солоноватоводными и даже пресноводными формами. Слои континентального происхождения заключают растительные остатки.

Переход торфяников в ископаемое состояние всегда происходит при быстрой трансгрессии моря, поэтому кровлей пластов чаще всего являются морские или солоноватоводные осадки. Угольные пласты выдержаны на большой площади.



Платформенные осадочные угленосные формации

На платформах можно выделить два типа угленосных осадочных формаций: собственно платформенные (чехла платформ) и тектонических впадин (авлакогенов).

Платформенные осадочные угленосные формации чехла платформ.

Они образуются в условиях слабодифференцированных тектонических движений с малыми скоростями и относительно небольшими амплитудами. Обычно характеризуются небольшими мощностями и выдержанностью на значительных площадях. В бассейнах платформенного типа залегание угленосных формаций (угленосных толщ, по терминологии многих угольщиков) всегда не совпадает с залеганием подстилающих пород. Возрастное несовпадение свидетельствует о длительном перерыве в осадконакоплении, что является для бассейнов этого типа (Подмосковного, Иркутского и др.) важным диагностическим признаком.

Мощность угленосной толщи невелика - редко сотни метров. Ее фациальный состав прибрежно-морской и, главным образом, наземно-континентальный. Угли по условиям накопления относятся к озерно-болотному типу. Для осадков характерно преобладание песчаных толщ над глинистыми. В них встречаются остатки флоры, пресноводная и наземная фауна. Угленосные отложения сильно изменяются на коротких расстояниях. В незначительной по мощности угленосной толще содержится ничтожное количество угольных пластов, главные из них приурочены к основанию толщи. Пласты угля не выдержаны по мощности. Они выклиниваются и расширяются на коротких расстояниях. Химический состав их также непостоянен, особенно по содержанию золы. Породы угленосной толщи чаще рыхлые и лишь изредка сцементированные [17].

Угленакопление в тектонически пассивных платформенных площадях и его особенности.

Здесь имеют место паралические и внутриконтинентальные ландшафты. Примеры паралических эпейрогенных угольных отложений - угли Московской синеклизы, Азово-Подольского массива.

Тектоническая база паралических эпейрогенных углеобразующих ландшафтов - это стабильные участки платформ, но иногда также и краевые части геосинклиналей в периоды их малой активности (Кизеловский карбоновый угольный бассейн Приуралья).

Пространственно углеобразующие эпейрогенные (колебательные) ландшафты были не только удалены от синхроничных тектонически активных регионов, но и изолированы от них. Угленосные геологические формации эпейрогенных ландшафтов принадлежат к типу кварц-каолиновых. Это свидетельствует о слабой интенсивности эпейрогенических движений земной коры на платформах в эпоху углеобразования. Примеры внутриконтинентальных эпейрогенных угленосных формаций - тунгусская свита Сибирской платформы, среднеюрские отложения Западно-Сибирской низменности, третичные (палеоген-неогеновые) месторождения Западной Сибири, среднеюрские угленосные отложения Русской платформы.

Угленосные формации молодых платформ

Здесь особое значение имеют формации наложенных прогибов брахиформного типа, относящиеся к категории терригенных высоко- и сверхвысокоугленосных (угли Д-Т). Подобные формации широко распространены преимущественно в Центральном Казахстане (Экибастузский и Тениз-Коржункульский бассейны, месторождения Акжар, Борлы, Койтас и др.). По возрасту они относятся к карбону. Мощность их от 350-400 до 1700 м (Экибастузский бассейн). Среди фаций доминируют прибрежно-морские и лагунные, которые вверх по разрезу последовательно сменяются озерными, болотными и подводно-дельтовыми.

Этот тип формаций высокоугленасыщен, со сверхмощными пластами до 100 м. Как правило, угли высокзолые, трудно- и очень труднообогатимые. По степени метаморфизма они относятся к газовым, коксовым; с этим типом формаций связаны такие уникальные по своей промышленной ценности бассейны, как Экибастузский на северо-востоке Казахстана в районе города Павлодара.

К формации молодых платформ относятся частично Кузнецкий угольный бассейн, а также Челябинский, Тургайский, Южно-Уральский и др. [20, 21].



Формации древних платформ

Они формировались в прогибах (окраинных сенеклизах) центральных (Подмосковный и Тунгусский бассейны) и краевых (Камская площадь) зон и наложенных впадин и депрессий (Иркутский, восточная часть Канско-Ачинского юрских бассейнов) [22, 23]. По вещественному составу это типы, соответственно, терригенный слабо-среднеугленосный (угли Б), терригенный среднеугленосный (угли Б-Д) и терригенный высокоугленосный (угли Б). Формации датируются карбоном, пермью, юрой, мелом, палеогеном и неогеном. Общая фациальная обстановка разнообразная – от прибрежно-морской до внутриконтинентальной. Количество пластов в разрезе до 20, рабочих – первые единицы. Наиболее угленасыщена базальная часть формаций. Угольные пласты мощностью до 30 м и более.

При проявлении термального и контактового метаморфизма угли достигают стадии А углефикации и даже переходят в графит (Тунгусский бассейн).

Формации древних платформ отличаются горизонтальным или слабоволнистым залеганием пород, пологой брахискладчатостью.

По ресурсам платформенная песчано-глинистая угленосная формация занимает первое место на территории России. На ее долю приходится более 3 трлн т угля. К формациям древних платформ относится также Днепропетровский бассейн [20].

Группа формаций эпиплатформенной активизации

Области активизированных древних платформ в юрский и меловой периоды были территориями интенсивного углеобразования. Оно происходило в прогибах и впадинах активизированных и особоактивизированных зон, связанных с континентальным рифтогенезом. В указанных прогибах и впадинах формируются соответственно вулканогенно-терригенная средне-высокоугленосная (угли Б-Г, месторождения Забайкалья) и терригенная высокоугленосная (угли Г-Т, Южно-Якутский, Улугхемский бассейны) формации.

В Забайкалье многочисленны юрские и меловые месторождения. Основные из них – Гусиноозерское, Тугнуйское, Тарбагатайское, Чикойское, Харанорское и др. [24]. Характерная черта разрезов угленосных отложений – наличие базальных и внутрiformационных конгломератов. Мощность угленосных формаций до 2000 м (Гусиноозерское). Количество угольных пластов от 1-2 до 32, в том числе рабочих до 19. Единичные сверхмощные пласты до 80 м. Региональный метаморфизм слабый. Угли изменяются от бурых до газовых. Структура угленосных формаций – брахисинклинали, осложненные разрывами.

В Южно-Якутском бассейне общее число угольных пластов достигает 119, из которых 30 имеют рабочие мощности и устойчивое распространение по площади. Мощность рабочих пластов достигает 60-100 м. Региональный метаморфизм углей отчетливый. Угли каменные, стадий от жирных до отощенно-сжигающихся, Нерюнгринское месторождение эксплуатируется.

В целом собственно платформенным угольным бассейнам чехла платформ свойственны малая (от сотен метров и меньше) мощность угленосной толщи, наличие чаще бурых углей в пределах десятка или первых десятков пластов, обладающих малой устойчивостью и имеющих обычно большую (иногда до 100 м) мощность, залегание угленосных отложений горизонтальное или наклонное, с дизъюнктивными нарушениями небольшой амплитуды и преимущественно различных направлений [19].

На платформах процессы поднятия и опускания литосферы совершаются выше уровня моря, поэтому образование угленосных отложений здесь происходит только в отрицательных формах рельефа, при погружении литосферы в условиях озер, дельт крупных рек и стариц.

Интенсивное торфообразование в наземно-континентальных условиях происходит в самом начале периода опускания суши.

Такое представление увязывается с фактами, наблюдавшимися в действительности. В основных угольных бассейнах платформенного типа (Иркутском, Канско-Ачинском, Подмосковном и др.) наиболее мощные рабочие угольные пласты приурочены к нижней части угленосной толщи (формации), причем контакт их с подстилающими породами эрозионный: они залегают на размытой поверхности нижележащих отложений.



По мере дальнейшего опускания суши процессы торфообразования замедляются, и поэтому в конце континентальной седиментации формируются чаще угольные пласты меньшей мощности и невыдержанные по простиранию.

Для формирования пластов угля на платформах накопление растительных остатков происходит преимущественно в замкнутых водоемах, озерах, болотах, старицах и долинах дряхлеющих рек [25].

Фациальный состав угленосной толщи (формации) континентальных платформ пестрый. Это прежде всего пресноводные фации, представленные речными, озерными и болотными отложениями. Литологический состав их колеблется от грубозернистых разностей до очень тонкозернистого материала (пойменный ил), однако песчаные породы преобладают над глинистыми, встречающимися в виде отдельных линз. В отложениях главным образом встречаются растительные остатки.

Угли в платформенных бассейнах смешанного типа: гумусовые и сапропелевые; последние приурочены к средним частям угольных пластов и линз. В пластах угля и глинистых породах встречается большое количество пирита и марказита, их концентрации местами приобретают промышленное значение.

Метаморфизм углей в платформенных бассейнах невысокий. Поэтому угли здесь преимущественно бурые, независимо от их геологического возраста.

Платформенные осадочные угленосные формации тектонических впадин (авлакогенов)

Они распространены, к примеру, в Донецком и Таймырском авлакогенах территории бывшего СССР. Для них характерно накопление мощных карбонатно-терригенных высокоуглеродистых толщ (угли длиннопламенные – антрациты).

Авлакогены – линейно вытянутые ровообразные впадины повышенной подвижности, ограниченные крупными разломами, рассекающими фундамент платформы. Длина авлакогенов достигает многих сотен километров, ширина – десятки километров. Они нередко связаны с близрасположенными геосинклиналями. Выполняющие авлакогены паралические (прибрежно-морские) отложения значительной (многие тысячи метров) мощности с большим количеством пластов угля. Они образуют складки, часто довольно сложные. По формационному составу отложения авлакогенов близки к миогеосинклиналям (мелководным, амагматическим).

Различают авлакогены простые, сложные, поперечные, сквозные. Простые авлакогены представляют собой грабены с простым синклинальным строением. Сложные авлакогены образуют складчатые системы. Поперечные (замкнутые) авлакогены – структуры, одним концом слепо затухающие в платформе (Днепровско-Донецкий авлакоген), а другим – выходящие за ее пределы. К сквозным авлакогенам относятся структуры, рассекающие всю платформу. Например, система Уачита в Северной Америке.

Авлакогены могут возникать в разные, но предпочтительно в ранние стадии развития платформ. Например, ранние авлакогены сформировались в рифее, а поздние авлакогены в среднем-позднем палеозое Восточно-Европейской платформы.

Близким понятием к авлакогену является грабен-синеклиза [14].

В месторождениях тектонических впадин, судя по примеру Челябинского бассейна, мощность угленосных отложений достигает 3500 м; количество угольных пластов доходит до 50, а мощность отдельных угольных пластов может превышать 250 м [9].

Угленосные осадочные формации передовых (краевых) прогибов платформ.

Они являются переходными между геосинклинальными и платформенными. Прогиб краевой – линейно вытянутый, асимметричный, протяженный (обычно свыше 1000 км) прогиб в зоне, пограничной между платформой и складчатым горным сооружением (геосинклинально-складчатой областью). Он возникает на месте геосинклинальной области, заполненной существенно молассовыми толщами (конгломератами, песчаниками, глинами, мергелями) с углем, каменной, калийной солями, гипсами. Характерно наличие угленосных, соленосных геологических формаций, а также структур, благоприятных для скопления нефти и газа. К примеру, Предуральский (Западно-Уральский) краевой прогиб. Переходные формации



возникают в областях энергичного погружения в эпохи поднятия складчатых горных сооружений. Они обладают большой мощностью и распространены в пределах окраин платформ, прилегающих к геосинклиналям, а иногда на площадях бывшего распространения геосинклинальных толщ. Мощность сотни-тысячи метров.

Свойственные переходным формациям обломочные породы характеризуются пестрым минералогическим составом, а среди пород химического и органического происхождения, в соответствующих климатических условиях, образуются соль и угли.

Наиболее важные угленосные формации краевых прогибов (Печорский, Кузнецкий, Карагандинский бассейны). По возрасту они относятся к карбону, перми, юре и мелу. Их мощности достигают 3500–4500 м и иногда 6000–8000 м. В их строении преобладают прибрежно-морские, лагунные, озерные, дельтовые, аллювиальные и болотные фации. Формации характеризуются высокой угленасыщенностью. Они содержат 40–300 пластов, из которых до 100 достигают рабочей мощности, включая мощные (3–5 м) и сверхмощные (до 15–30 м) (Печорский и Кузнецкий бассейны). Существенную роль имеют мало- и среднезольные легкообогащаемые разности, пригодные для коксования. Степень метаморфизма углей возрастает со стратиграфической глубиной от бурых и длиннопламенных до тощих и антрацитов.

К угленосным формациям данных типов приурочены наиболее крупные угольные бассейны, с которыми связаны основные запасы и ресурсы коксующихся углей. Это, в частности, так называемые предгорные палеозойские угленосные геологические формации Донецкого, Карагандинского и Кузнецкого бассейнов. Эти формации и близкие к ним палеозойские угленосные отложения Западной Европы характеризуются значительной мощностью. Так, например, общая мощность угленосной толщи Донецкого бассейна превышает 8000 м, а мощность ее продуктивной части, к которой приурочены в основном рабочие пласты, равна 1500–3000 м. Соответствующие цифры для Кузнецкого бассейна равны 8000 и 4000 м. Велико также и количество пластов углей. Так, например, в Донецком бассейне присутствует около 200 пластов, из них 30–40 рабочей мощности, в Карагандинском из 60 пластов – 28 рабочей мощности, в Верхне-Силезском из 477 пластов – 177 рабочей мощности и т.д.

На долю глинистых пород в различных свитах Донецкого бассейна приходится от 40 до 80% от их общей мощности. Аналогичные или несколько меньшие цифры характерны и для других толщ паралического типа, то есть толщ, сложенных чередующимися континентальными и морскими отложениями.

Другой характерной породой для угленосных формаций являются песчаники. Они залегают в виде пластов мощностью до 10 м и распространяются на большой площади. Известняки в угленосных толщах наблюдаются далеко не всегда.

Расположение всех пород в разрезе ритмичное. Мощность ритмов меняется от 10 до 100 м.

С течением времени углеобразование происходит в различной обстановке. В Донецком бассейне пласты углей чаще всего представляют отложения приморских болот и лагун. В палеозое Кузнецкого бассейна – это осадки приустьевых застойных заболоченных водоемов по окраине крупного опресненного бассейна, соединявшегося с морем; в юрских отложениях Кузнецкого бассейна – это озерно-болотные отложения межгорной долины и т.д. Отличием угольных бассейнов передовых (краевых) прогибов платформ являются промежуточные значения мощности угленосной толщи и пластов углей, так же как количества последних и степени их устойчивости по сравнению с рассмотренными двумя крайними типами – геосинклинальными и платформенными. Особенностью тектонического строения угольных бассейнов передовых (краевых) прогибов является развитие в них брахискладок, в том числе куполовидного характера [19].

Палеогеографические условия образования осадочных угленосных формаций

Образование угленосных формаций происходит при тесном взаимодействии палеотектонических и палеогеографических условий (факторов). Палеогеографические обусловлены в значительной мере экзогенными процессами, хотя первопричиной многих из них являются эндогенные тектонические. Комплекс палеогеографических (ландшафтно-фациальных) факторов – это связанные между собой климат, растительность, формы рельефа



областей размыва и накопления осадков, общие и частные фациальные обстановки (условия осадконакопления), действующие в них гидродинамические, геохимические и другие явления.

Наиболее независимым от геотектонических причин палеогеографическим фактором является климат. Общеизвестно, что образование угленосных формаций происходит при гумидном или близком к нему климате с избыточным увлажнением и обильным и разнообразным растительным покровом [26, 27]. Местности с гумидным климатом образуют пояса – экваториальный с прилегающей частью тропического и умеренный (северный и южный). Однако диапазон климатических условий был достаточно широк: от тропического и субтропического к умеренно-влажному и даже семигумидному и семиаридному климату.

В истории развития земной коры, по-видимому, происходила направленная эволюция углеобразования в сторону смещения угленакопления от тропического климата и ландшафта приморских равнин к умеренно-влажному климату и ландшафту внутриконтинентальных озерных котловин и речных долин [27].

Значение ландшафтно-фациальных факторов в образовании угленосных формаций трудно переоценить. С разными типами ландшафтов связаны различия в угленосности, свойствах углей и концентрации определенных элементов. На ход осадконакопления в палеоландшафте особое влияние оказывает морфология палеоповерхности, на которой формируются осадки. Время существования того или иного палеоландшафта – сотни тысяч и даже миллионы лет.

В геологии выделяются ландшафты разных порядков: ландшафтная область – макроландшафт – элементарный ландшафт, который бывает сложным и простым. Простые могут существовать на фоне более сложных. Так, например, ландшафтная область – аллювиально-болотная равнина – содержит ряд макроландшафтов, в том числе речную долину. Каждый из этих макроландшафтов включает ряд элементарных ландшафтов; в частности, речная долина представлена сложными элементарными ландшафтами русла и поймы. На фоне поймы развивается ряд простых элементарных ландшафтов: стариц, пойменных озер, торфяных болот и т.д. [28]. Вместе с тем, термин «ландшафт» без уточнения остается термином свободного пользования. Ему соответствует наше понятие «фациальная обстановка» (условия осадконакопления). Изменение ландшафта и его особенностей во времени неразрывно связано с тектоническим развитием региона. В частности, в угленосных толщах тектонические движения разного знака обуславливают направленную миграцию ландшафтов и, следовательно, смену их в каждом конкретном пункте. В геологическом разрезе это проявляется в виде циклического строения угленосных геологических формаций (ритмичного переслаивания осадков различного вещественного состава).

Сравнение угленосных формаций с предшествующими и последующими образованиями показывает, что специфическая углеобразующая ландшафтная область, включающая в качестве обязательного члена такой местный ландшафт, как торфяное болото, возникает не сразу, а на основе подготовленных ранее условий. Столь же закономерно она сменяется иной ландшафтной областью. Торфообразующий ландшафт возникает постепенно и постепенно исчезает.

Для углеобразующей ландшафтной области неизменна одна общая тенденция к выравниванию, выполаживанию рельефа как на суше, так и в прилегающей к ней части акватории. Болотный ландшафт является обязательным элементом ландшафтной области перед формированием угленосных отложений.

Общие черты, характерные для угленосного ландшафта, следующие:

1) гумидный климат (влажный и не слишком холодный); 2) выровненный рельеф суши: наличие более или менее обширной (десятки и более квадратных километров) плоской или пологоволнистой равнины с затрудненным дренажем; 3) существование крупного по площади, но относительно мелководного водоема с отмельным побережьем, периодически затопляющего эту равнину; 4) пышное развитие растительности и обязательное появление на фоне различных крупных ландшафтов такого элементарного простого ландшафта, как торфяное болото; 5) значительная (не менее нескольких десятков тысяч лет) устойчивость этих ландшафтов во времени, позволяющая сформироваться торфянику такой мощности и протяженности, которые достаточны для того, чтобы из него могли образоваться продуктивные угольные пласты.



Главным геоморфологическим элементом углеобразующего ландшафта является покрытое растительностью широкое равнинное побережье с затрудненным дренажем, переходящее в отмельную часть дна водоема.

Естественными границами углеобразующих ландшафтов являются, с одной стороны, область хорошо дренируемой постоянной суши (часто являющейся и областью сноса), а с другой – область открытой акватории, не захватываемой заболачиванием.

В природе выделяются три основных типа ландшафтных углеобразующих областей.

Прибрежно-равнинная ландшафтная угленосная область связана с низменным побережьем водных бассейнов: морей (чаще эпиконтинентальных, то есть шельфовых, целиком расположенных в пределах материковой отмели на земной коре материкового типа), заливов, реликтовых остаточных морей-озер и, наконец, крупных озер. Здесь выделяются три подтипа областей: 1) заболачиваемого побережья бассейна, 2) дельтовый и 3) особой континентальной области, связанной с речными долинами, но периодически затапливаемой водами ингрессирующей акватории; эту область еще называют аллювиально-болотно-бассейновой. Поясним, что ингрессия – это разновидность процесса наступления моря на сушу типа платформы, обладающей равнинным низменным рельефом, сложенной горизонтально лежащими отложениями. Наступление не сопровождается абразией, перерыв неясен, угловые несогласия отсутствуют.

В указанных трех подтипах ландшафтной области обязательным членом ландшафтов будут озерные и болотные элементарные ландшафты, в частности, торфяных болот.

Рассматриваемый первый прибрежно-равнинный тип ландшафта господствует в продуктивных угленосных формациях, так как с ним связаны наиболее крупные угольные бассейны: Донецкий, Карагандинский, Кузнецкий, Печорский и др. Этот тип имеет две разновидности: собственно паралический тип, связанный с приморской областью, и субпаралический, связанный с побережьем крупного опресненного бассейна или озера. В обеих разновидностях отмечаются все три подтипа.

В общем для месторождений прибрежно-равнинного типа характерно значительное количество угольных пластов чаще небольшой и средней мощности. Это определяется не только тектоническими движениями, но и ландшафтной обстановкой, в которой они проявляются.

Континентально-равнинная ландшафтная угленосная область представляет собой удаленную от моря, устойчиво заболачиваемую широкую речную долину или же озерно-болотную низменность. Таким образом, здесь выделяется два подтипа: 1) аллювиально-болотно-равнинная область, которая обязательно включает микроландшафт долины крупной реки (рек); 2) озерно-болотно-равнинная, в которой на значительной площади развита сеть сравнительно небольших и мелководных озер и болот, речная же сеть представлена, как правило, мелкими речками.

Рассматриваемая континентально-равнинная ландшафтная угленосная область (области) имеет значительно меньшее распространение и с ней связано менее продуктивное углеобразование. К таким областям отнесен ряд кайнозойских угольных месторождений Русской и Сибирской платформ, Западной Белоруссии, Украины и др. Примером могут служить палеоландшафты Коростышевского буроугольного месторождения около Житомира, приуроченного к речной долине палеотектонического происхождения, и Ново-Дмитровское месторождение с мощным пластом бурого угля, сформировавшимся в результате зарастания озера во впадине Русской платформы.

Для континентально-равнинных ландшафтных угленосных областей характерны малое количество угольных пластов, их незначительная протяженность и сложное строение; мощности различные, зольность разная, обычно высокая.

Горно-долинно-котловинная ландшафтная угленосная область. Они широко развиты в мезо-кайнозойских угленосных формациях. Это ландшафты межгорных впадин, которые иногда на площади переходят в предгорные равнины, в ряде случаев открытые к побережью моря или озера. Примеры – Челябинский и Сосьвинско-Салехардский бассейны, большинство месторождений Средней Азии, Забайкалья и др. [28]. В современную эпоху – это, например, торфяники Колхиды (Грузия).



Черты угленосности в разных месторождениях данного типа ландшафтных углеобразующих областей разнообразны: различные количества угольных пластов, их мощности и выдержанность. Строение пластов обычно сложное, зольность повышенная. Из минеральных примесей в углях встречаются редкие элементы.

Типичные углеобразующие ландшафты – ландшафты равнин (приморских и внутриконтинентальных, озерных и аллювиальных) и межгорных и предгорных депрессий. Первые связаны с древними и устойчивыми платформами, с медленными и плавными колебательными движениями. Вторые характеризуются расчлененным рельефом областей размыва и представляют собой активные участки земной коры – геосинклинали, переходные зоны, молодые подвижные или активизированные древние платформы [27].

Фациальные условия образования угленосных формаций

По набору фаций угленосные формации схематично можно разделить на две группы: внутриконтинентальные и прибрежно-морские (бассейновые).

Во внутриконтинентальных формациях фациальный набор пород велик: от грубообломочных пролювиально-делювиальных и аллювиальных фаций до тонких существенно глинистых озерных осадков и углей (болотные отложения). В платформенных отложениях равнинного ландшафта преобладают более тонкозернистые и сортированные осадки, возникшие в речных долинах, пойменных озерах, старицах и заболоченных водоемах - пески и песчаники, алевролиты и алевролиты, различные глинистые породы.

В прибрежно-морских формациях к этому набору добавляются фации дельт, лагун, заливов, баров, кос, пересыпей, различные прибрежно-морские и собственно морские (открытого моря) фации. Большинство их представляют собой обломочные породы, как и в первом случае; только в группе морских фаций появляются карбонатные породы (детритовые органогенные и хемогенные известняки) и иногда пласты кремнистых пород-силицитов (Донбасс) [27].

Наблюдаемые в природе факты доказывают, что для образования угольных пластов были необходимы специфические условия, при которых не должна иметь место сортирующая деятельность прибойной волны, отсутствовали течения и не поступал грубообломочный материал. Условия, отвечающие таким требованиям, имеют место только в спокойных морских лагунах, лиманах (заливах) и других более или менее изолированных водоемах. Такие условия можно найти в прибрежных частях современных морей, где нет течений и прибоя, где у береговой линии на незначительной глубине отлагаются береговые глины. Глинистые осадки отлагаются и в мангровых зарослях (непроходимых густых вечнозеленых чащах в тропиках), которые во многом напоминают прибрежные болота эпох углеобразования. В таких условиях в прибрежно-континентальной полосе расположится фация торфяников, за ней следует фация глинистых пород, далее идут пески, глины и пр. [25]. Подавляющее большинство углей имеет не перемещенное (аллохтонное), а местное (автохтонное) происхождение и возникло на базе лесных болот, то застойных, то более или менее проточных. В них накапливался главным образом древесный материал [29].

Торфонакопляющие болота только изредка возникали в результате зарастания озерных или лагунных водоемов. Как правило же, они формировались путем заболачивания тех или иных участков общей площади гумидных зон благодаря подъему уровня грунтовых вод.

Фациальная обстановка локализации заболоченных пространств, углеобразования внутри седиментационных областей осадконакопления была весьма разнообразна. Это водораздельные, междуречные пространства среди плоских депрессий (впадин) с высоким уровнем грунтовых вод; это речные долины, в частности на обширных поймах (особенно в их прибортовых депрессиях) и участках стариц (старых русел рек). Обширные площади заболачивания типичны для низовьев рек, их дельтовой области, а также для прибрежных низин, примыкающих к морю.

Таким образом, фациальный профиль (физико-географическая обстановка угленакопления) весьма широк, диапазон фациальных условий огромен, а сами угли довольно обычные и широко распространенные образования среди континентальных гумидных отложений.



Основные региональные закономерности распределения угля на Земле, исторические этапы углеобразования, угленосные (угольные) бассейны, площади, провинции

Основные региональные закономерности распределения угля на Земле

Анализ угленосных геологических формаций различных региональных тектонических структур – геосинклинальных (геосинклинально-складчатых), платформенных, переходных, эпиплатформенной активизации показывает, что подавляющая масса этих формаций на Земле локализована на участках активных тектонических движений в деформированных областях геосинклинальных зон и на примыкающих к ним участках платформенных антеклиз.

Образование угленосных формаций происходит в условиях тесного взаимодействия геотектонических, палеогеографических и фациальных обстановок осадконакопления. Все они получают отражение в структуре, строении и составе угленосной формации [30].

Климат и тектонический режим, их сочетание – это главные факторы образования угленосных толщ, угленакопления на площадях гумидных зон (зон обильной растительности и теплого влажного климата) [15, 20].

Угленосные толщи во многих случаях имеют циклическое строение разреза – многократное повторение сходных типов пород, чередующихся в определенной закономерной последовательности. Причиной этого выступают колебательные движения земной коры. Именно они обуславливают глубины прибрежных частей водных бассейнов, от которых зависит крупность зерен минералов области осадконакопления.

Иногда угленосные толщи отделены перерывом от подстилающих более древних или покрывающих более молодых отложений; в других случаях, наоборот, они связаны постепенным переходом, при этом граница между ними становится условной.

Мощность угленосных толщ колеблется от нескольких метров до 10 км и более (в Донбассе), до 8 км в Кузбассе.

Формирование углей некоторых бассейнов иногда начинается в одних условиях, а затем в связи с изменившейся палеогеографической обстановкой продолжается и заканчивается в других. Так, в нижнекарбовое время Карагандинский бассейн образовался как тип геосинклинального накопления угленосной толщи. Уже в верхнем визе (средний ярус нижнего отдела каменноугольной системы) заметен переход к типу промежуточных зон, а угленакопления того же бассейна в юрское время являются отложениями типа континентальных платформ. Приведем еще пример тектонической политипности угольных бассейнов. В Донецком угольном бассейне на протяжении более чем 500 км наблюдается последовательная смена признаков от геосинклинального типа на востоке до платформенного на западе. Угленосная толща в этом направлении с 19-15 км уменьшает свою мощность до 3-4 км на западе. В такой же направленности изменяется степень метаморфизма заключенных в одних и тех же свитах углей: представленные в восточной части антрацитами, они к западу последовательно сменяются зонами все менее метаморфизованных углей, вплоть до длиннопламенных, которые у западной границы бассейна переходят уже в бурые угли или угли марки БД. Таким образом, политипный угольный бассейн можно считать как составленный из трех последовательно переходящих друг в друга типов: геосинклинального, переходного и платформенного.

Около 50 % мировых запасов углей приходится на платформенные бассейны, остальные 50% – на геосинклинальные и переходные [17].

В бассейнах геосинклинального типа мощность угленосных отложений составляет 2-10 км и более, а в бассейнах платформенного типа – десятки, реже сотни метров. В угленосных толщах бассейнов геосинклинального типа залегают сотни угольных пластов, преимущественно тонких, но достаточно выдержанных по площади и более или менее равномерно распределенных по всему разрезу. В платформенных бассейнах число угольных пластов невелико - единицы, редко десятки. Отдельные из них характеризуются большой мощностью, но недостаточной выдержанностью. Пласты обычно приурочены к нижним частям угленосной толщи.

Большие различия между геосинклинальными и платформенными бассейнами наблюдаются в метаморфизме углей и степени вторичной изменчивости вмещающих пород. В



геосинклинальных бассейнах обычно залегают угли всего метаморфического ряда - от первой до десятой стадии метаморфизма, а по марочному составу - от длиннопламенных до антрацитов. При этом отражательная способность витринита углей варьирует от 0,4 до 6%. Характерна отчетливая зональность в распределении углей отдельных стадий метаморфизма в разрезе и по площади распространения угленосных отложений. Вмещающие породы сильно уплотненные и сцементированные, нередко метаморфизованные.

Для бассейнов платформенного типа характерны угли слабо измененные, низкой степени углефикации, в основном буро-землистые и плотные матовые, реже уплотненные и сцементированные.

Геосинклинальные бассейны резко отличаются от платформенных по характеру складчатости и разрывных нарушений. В геосинклинальных бассейнах угленосные отложения обычно смяты в складки и разбиты разнообразными дизъюнктивными нарушениями. Интенсивность складчатости и проявления разрывной тектоники могут существенно варьировать в пределах отдельных бассейнов и месторождений. Так, в присалаирской части Кузбасса и со стороны Колывань-Томской складчатой области протягивается зона интенсивной складчатости с линейными узкими и очень крутыми складками, местами опрокинутыми и нарушенными, тогда как в центральной части бассейна расположена зона брахискладчатых структур, разделенных линейными нарушениями северо-западного простирания.

Аналогичные различия в особенностях нарушенности залегания угленосных отложений наблюдаются в Карагандинском и других бассейнах геосинклинального типа.

Для платформенных бассейнов типично почти горизонтальное или очень пологое залегание угольных пластов с редкими разрывами, в основном сбросами.

В бассейнах промежуточного типа совмещены отдельные черты как геосинклинальных, так и платформенных бассейнов. Им свойственно большое разнообразие мощностей угленосных толщ, угленосности и фациального состава пород; для угленосных толщ характерны угли марок Д, Г, а иногда и Ж [31].

Таким образом, тектонические условия являются основными в формировании угленосных формаций. Это прежде всего колебательные (разных порядков) движения земной коры - волновые прогибы и поднятия. Под их влиянием возникают области седиментации (осадконакопления) и размыва. Как уже рассмотрено выше, среди разнообразных по степени активности геотектонического режима (по амплитудам и скоростям прогибания) волновых прогибов различаются три основные группы: геосинклинальные, промежуточные и платформенные.

В геосинклинальных волновых прогибах во время образования угленосных формаций амплитуда прогибания достигает иногда 10 км и более (Кузбасс). Именно в результате движений земной коры создаются условия, в конечном итоге организующие действие других факторов, что и приводит к образованию пластов, их ритмического переслаивания и толщ циклического строения, создающих формации, в том числе угленосные [26].

Одно из существенных отличий угленосных формаций от многих других типов геологических формаций заключается в их образовании в различных геотектонических обстановках. Угленосные отложения образуются как в подвижных геосинклинальных зонах в виде мощных толщ с большим количеством пластов каменного угля, так и в устойчивых, платформенных зонах в виде небольших толщ с малым количеством пластов бурого угля [7].

На примере многих месторождений угля доказано, что прежде всего геотектоническая обстановка обуславливает направленность процессов их формирования, особенности их структуры, качество и количество углей.

Угольные месторождения и бассейны образуются в депрессиях, которые в течение истории своего развития, как правило, остаются отрицательными формами рельефа. Это обуславливается, во-первых, тем, что породы угленосной толщи в отличие от пород фундамента легко поддаются денудации и, во-вторых, в тектоническом отношении сохраняют форму котловин или более или менее сложных синклиналей. Однако имеются месторождения угля, расположенные в высокогорном рельефе (к примеру, Апсатское юрское месторождение коксующихся углей на севере Забайкалья на Читинском участке железнодорожной трассы БАМ).



Это связано с устойчивым воздыманием горной страны с альпийского периода по настоящее время.

Анализ геологических угленосных формаций показывает, что они обладают многими своеобразными чертами строения и вещественного состава, что резко отличает их от других осадочных формаций. Это, во-первых, их полифациальность, которая определяется по многочисленным наборам генетических типов, имеющих широкий диапазон: от разнообразных континентальных до типично морских. Во-вторых, их частая фациальная изменчивость на весьма коротких расстояниях, которая особенно характерна для континентальных и прибрежно-морских условий седиментации. В-третьих, угленосные формации обладают довольно четко выраженным циклическим строением [32].

Одной из особенностей строения угленосных формаций является то, что они то в большем, то в меньшем количестве содержат органические вещества как в концентрированном (угольные пласты), так и в рассеянном виде. Угольные пласты, бывшие торфяники, обособляются в определенных участках формаций и связаны с болотными ландшафтами, среди которых различают четыре типа торфонакопления: дельтово-прибрежный, дельтовый, долинно-речной и озерный. Для озерного характерен гумусово-сапропелевый и сапропелевый состав углеобразующего вещества. Первые три типа торфонакопления связаны с болотными ландшафтами, где «стержнем» является крупная река или серия рек.

Дельтово-прибрежный тип торфонакопления связан с заливно-лагунным побережьем крупных бассейнов морской седиментации и характерен в основном для палеозоя (Донецкий, Кузнецкий, Рурский, Аппалачский, Иллинойский и др. угольные бассейны). «Стержнем» этого типа торфонакопления является крупная наземная дельта, располагающаяся на плоском побережье огромного морского бассейна с довольно широкой торфообразующей зоной. Поэтому пласты угля маломощны (как правило, не более 1-2 м, редко несколько больше), но простираются на большие расстояния.

Дельтовый тип торфонакопления (месторождения и бассейны восточного склона Урала, Ачинский, Канский, Улугхемский бассейны, Ткибульское и Шаорское месторождения Закавказья, юрские месторождения Ферганы, Таджикской депрессии, Тянь-Шаня и др.) характерен для мезозоя и кайнозоя, а также современной эпохи (дельта р. Поронай на Сахалине, Колхида).

Долинно-речной тип торфонакопления (Иркутский, Кузнецкий бассейны, Гелатское месторождение Закавказья и др.) характерен для мезозоя и кайнозоя и современной эпохи (накопление торфяников в долине р. Поронай).

Озерный тип торфонакопления, как правило, не является самостоятельным и обычно сопутствует трем предыдущим, например сапроколлиты Хахорейского месторождения Иркутского угольного бассейна, подмосковные богхеды (водоросли) и кеннели (водоросли + споры) [32].

Закономерности образования и размещения месторождений коксующихся углей.

Формирование и размещение месторождений коксующихся углей также подчинено определенным закономерностям, в первую очередь стратиграфическим, палеогеографическим и тектоническим [33].

Стратиграфические и палеогеографические закономерности.

Образование месторождений коксующихся углей связано с карбоновым, пермским, юрским, меловым, палеогеновым и неогеновым периодами. Затухание процессов углеобразования связано с триасовым периодом. На территории России в направлении с запада на восток происходит постепенное омоложение угленосных формаций. В европейской части основное углеобразование происходило в карбоне (Донецкий и Кизеловский бассейны), в Западной и отчасти Восточной Сибири – преимущественно в перми (Кузнецкий, Тунгусский, Таймырский), в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке – в юре, мелу (Ленский, Южно-Якутский, Зырянский, Партизанский) и палеогене-неогене (Сахалинский бассейн). Из общего количества ресурсов коксующихся углей в карбоне образовалось 11%, перми 69, юре 10, мелу 9, палеогене и неогене 0,1%.



Наиболее характерными палеогеографическими обстановками углеобразования являются континентальная (речная, озерная, озерно-болотная, конусов выноса, межгорных долин, водоразделов), прибрежно-континентальная (дельтовая, реликтовых озер) и прибрежно-морская (лагунная, лиманная, прибрежного мелководья, эстуариевая – воронкообразный залив в устье крупной реки).

В прибрежно-морских обстановках сформировались паралические угли карбона Донецкого и Кизеловского бассейнов. Пермские и мезокайнозойские угли образовались в прибрежно-континентальных и континентальных обстановках уже в лимнических условиях. Большинство углей образовалось в условиях обводненных застойных болот, что обусловило резкое преобладание в них витринита над другими компонентами.

Пониженный выровненный рельеф, защита торфяных болот от затопления, длительная полная компенсация погружения площади торфообразования накоплением растительного материала – все это способствовало образованию угольных пластов. Важную роль играл и климатический фактор. Карбоновые угли образовались в теплом влажном гумидном климате, причем в раннем карбоне растениями-углеобразователями служили папоротники и другие споровые растения, что нашло отражение в составе углей, богатых липтинитом (Донецкий, Кизеловский бассейны). В пермское время и начале юры получают развитие разнообразные хвойные растения, произраставшие уже в умеренном, иногда холодном климате. Начиная с позднего мезозоя, широкое развитие получили покрытосеменные растения, охватившие обширные пространства Сибири и Дальнего Востока.

Геотектонические закономерности.

Не меньшее влияние на весь ход образования, преобразования и разрушения угленосных формаций оказали геотектонические обстановки углеобразования. Они обусловили режим накопления растительного и обломочного материала, строение угленосных формаций, характер угленосности, пространственное размещение, сохранность или уничтожение угленосных отложений. Почти все месторождения коксующихся углей образовались в разного типа прогибах – краевых (Печорский, Таймырский бассейны), унаследованных (Кузнецкий бассейн), а также в авлакогенах (Донецкий бассейн) в условиях, переходных от геосинклинальных к платформенным. Ряд месторождений и бассейнов сформировался в активизированных частях древних платформ (Норильский район Тунгусского бассейна, Южно-Якутский бассейн).

В долгоживущих унаследованных прогибах углеобразование нередко охватывало несколько периодов: в Кузнецком, Тунгусском, Таймырском бассейнах – карбоновый, пермский и юрский, в Южно-Якутском – юрский и меловой, в Сахалинском – меловой, палеогеновый и неогеновый.

Тектонический режим определил циклическое строение угленосных формаций, начиная от мелких циклов (ритмов), отвечающих одному угольному пласту или даже его части, угленосной подсите, свите, серии угленосных и безугольных свит. Например, в Кузнецком бассейне четко выделяются два мегацикла, соответствующие балахонской и кольчугинской сериям; более мелкие циклы соответствуют подсериям и свитам.

Более мелкие ритмические колебания регулировали степень компенсации прогибания накоплением осадков и торфообразованием. От соответствия скоростей погружения торфяника скоростям торфообразования зависели мощность, строение и развитие в пространстве угольных пластов или прекращение торфообразования. Ритмический характер прогибания обусловил образование в этих прогибах десятков и сотен угольных пластов разной мощности (Донбасс, Кузбасс), строения и площадного развития.

Платформенные части крупных прогибов характеризуются небольшим числом угольных пластов, пологим слабо нарушенным их залеганием, распространением преимущественно газовых, реже жирных углей (Воргашорское месторождение Печорского бассейна, центральные районы Кузбасса). В геосинклинальных частях прогибов увеличивается число угольных пластов, усложняется тектоническое строение, получает развитие взбросовая и надвиговая тектоника, возрастает метаморфизм углей вплоть до тощих (западные районы Кузбасса, Хальмерьюзское, Верхнесырьягинское месторождения Печорского бассейна, Беркакитское месторождение Южно-Якутского бассейна, восточные районы Донбасса).



Тектонический режим обусловил и разные типы складчатости – от пологих изометричных складок в приплатформенных частях прогибов до узких, нередко крутых, систем линейных складок в геосинклинальных частях бассейнов, что хорошо прослеживается в Кузбассе при движении от центральных районов к западным, в Печорском бассейне в направлении с запада на восток.

Глубина погружения угольных пластов, увеличение напряженности термодинамического режима недр способствовали образованию углей разных стадий метаморфизма. Наиболее благоприятные для образования спекающихся углей средних стадий метаморфизма глубины оцениваются от 3 до 5 км в зависимости от палеотемператур.

Превышение этих глубин приводило к образованию углей более высоких стадий и соответственно к потере ими спекающей способности. Это хорошо видно на примере юго-западных районов Кузбасса, восточных районов Донбасса, северных районов Печорского бассейна (Пай-Хой), месторождений восточного склона Урала.

Характерно, что угли наиболее ценных марок К, КЖ, как правило, размещены в тектонически сложных районах (Прокопьевско-Киселевский и Анжерский в Кузбассе, Хальмерьюзский в Печорском бассейне). Исключений из этого правила немного (Нерюнгринское месторождение в Южной Якутии, Юньягинское – в Печорском бассейне). Приуроченность углей к зонам крупных разломов и их «оперению» способствовала усилению напряженности термодинамического режима и обеспечивала поступление из недр высокотемпературных эманаций, что и приводило к повышению степени метаморфизма углей. Причем горячие газы оказывали не только тепловое, но и геохимическое воздействие на угли, что, возможно, улучшало их спекаемость.

Трудно переоценить влияние тектоники не только в период осадконакопления, но и в течение инверсии тектонического режима и последующих дислокаций, которые обуславливали порой весьма значительные перемещения отдельных блоков угленосных отложений и соответствующее изменение марочного состава углей, что особенно важно для глубин, доступных освоению. Серии ступенчатых блоков с углями марок К и ОС характерны для Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса, Хальмерьюзского района Печорского бассейна, восточных районов Донбасса.

Наряду с образованием угленосных формаций, тектонический режим нередко способствовал и их разрушению. Инверсия тектонического режима, горообразование и складчатость обуславливали денудационные процессы, приводящие к уничтожению угленосных формаций на больших территориях. Нередко мы имеем дело лишь с останками угленосных толщ, сохранившихся в грабенах или синклиналях, разделенных поднятиями, с которых угленосные отложения были смыты. Примером таких структур являются Юньягинское месторождение в Печорском бассейне, Чексинское – в Кузнецком, Эльгинское – в Токинском, отдельные грабен-синклинали – в Кизеловском бассейне и на востоке Урала. Минусинский бассейн в его современных контурах – лишь небольшая часть обширной площади углеобразования, простиравшегося на север вплоть до Канско-Ачинского бассейна.

Вопрос о том, какая часть угленосных отложений была уничтожена последующими процессами, достаточно сложен. В каждом бассейне масштаб разрушения угленосных формаций, естественно, был различным. Видимо, наименее был подвержен денудации Кузнецкий бассейн, где перерыв между завершением позднепермского углеобразования и началом раннеюрского был небольшим и относительно спокойным. Правда, имеются сведения, что угленосные отложения верхнего палеозоя простираются далеко на север под чехлом мезокайнозойских, кстати, также угленосных осадков Западно-Сибирской платформы. В то же время в Южно-Якутском и Токинском бассейнах интенсивные восходящие движения, начиная с позднего мела и продолжающиеся до сих пор, привели к уничтожению мощных наиболее угленасыщенных отложений верхней юры и нижнего мела, содержащих угли особенно ценных марок К и Ж.

Таким образом, тектоника определила современное размещение угленосных формаций в различных структурных зонах земной коры.



Необходимо отметить еще и такое важное явление, сопровождающее тектоническое развитие угольных бассейнов, как магматизм, обуславливающий пестроту марочного состава углей. Более того, значительное увеличение напряженности теплового поля недр угольных бассейнов приводит к резкому снижению спекающей способности коксующихся углей даже на наиболее благоприятных для этого средних стадиях метаморфизма, а вблизи контактов с магматическими телами – к образованию антрацитов, графитов и кокса. Наиболее характерными примерами этому служат Тунгусский и Таймырский бассейны, где в конце перми-триаса широко проявился трапповый магматизм [33].

Исторические этапы углеобразования

Запасы углей на Земном шаре распределяются неравномерно по различным стратиграфическим подразделениям фанерозоя. Имеются три максимума и три минимума угленакопления. Максимумы совпадают: первый – с верхним карбоном и пермью (38,1% мировых запасов угля), второй – с юрой (4% мировых запасов угля) и третий – с верхней частью верхнего мела и третичным (палеоген, неоген) периодом (54,4% мировых запасов угля). Минимумы угленакопления совпадают: первый – с нижним карбоном, второй – с триасом и третий – с низами верхнемелового периода.

Максимумы угленакопления соответствуют орогеническим эпохам с наиболее интенсивным проявлением складчатости, минимумы угленакопления – периодам трансгрессии и ослаблению складчатости.

Площадь карбонового угленакопления расположена в основном в северном полушарии и охватывает восточную часть Северной Америки, Европу, северную половину Африки и западную часть Азии. К карбоновому угленакоплению относятся, к примеру, угли Татарии, Карагандинское, Экибастузское и другие месторождения.

Площади с преобладанием пермского и юрского угленакоплений расположены большей частью в Южном полушарии (восточная часть Азии, Австралия, юго-восточные секторы Африки и Южной Америки).

Площади с преобладанием верхнемелового и третичного (палеоген, неоген) угленакоплений охватывают восточное побережье Азии и Австралии, западное побережье Северной и Южной Америки [34].

Значительное угленакопление в палеозое получило еще большее развитие в мезозое. Эта эра для территории бывшего СССР явилась максимумом угленакопления.

Главнейшие бассейны каменных углей на территории европейской части бывшего СССР – Донецкий и Печорский, в Казахстане – Карагандинский, в Западной Сибири – Кузнецкий (рис. 1), в Восточной Сибири – Южно-Якутский. Месторождения бурых углей широко распространены во многих районах Урала, Сибири, а также в Подмосковном бассейне и на Украине.

Этапы углеобразования на территории России и стран СНГ (бывшего СССР)

К вероятным представителям наиболее ранних углей могут быть отнесены редкие и малоизученные отдельные углепроявления силурийского возраста, встречающиеся в Средней Азии (Кенагаз и др.). Органическая жизнь на Земле возникла около 4 млрд лет тому назад, но за более чем половину геологического летоисчисления растительная жизнь не шагнула далее образования синезеленых водорослей и бактерий, а выход растительности на сушу, с чем связано торфо- и углеобразование практического значения, произошел через 3,5-3,6 млрд лет после появления органической жизни – в среднем и позднем девоне. Вымершие к тому времени псилофиты оказались замещенными хвощеобразными и прпапоротниками, которые и служили исходным материалом для углеобразования. Начавшись со среднего девона, этот процесс развивался все последующие эпохи, то есть в течение почти 500 млн лет. По приуроченности к геологическому возрасту и интенсивности углеобразования обычно выделяют шесть этапов: девонский, карбоновый, пермский, раннемезозойский, позднемеозойский и кайнозойский. Среди некоторых из них могут быть выделены подэтапы угленакопления.

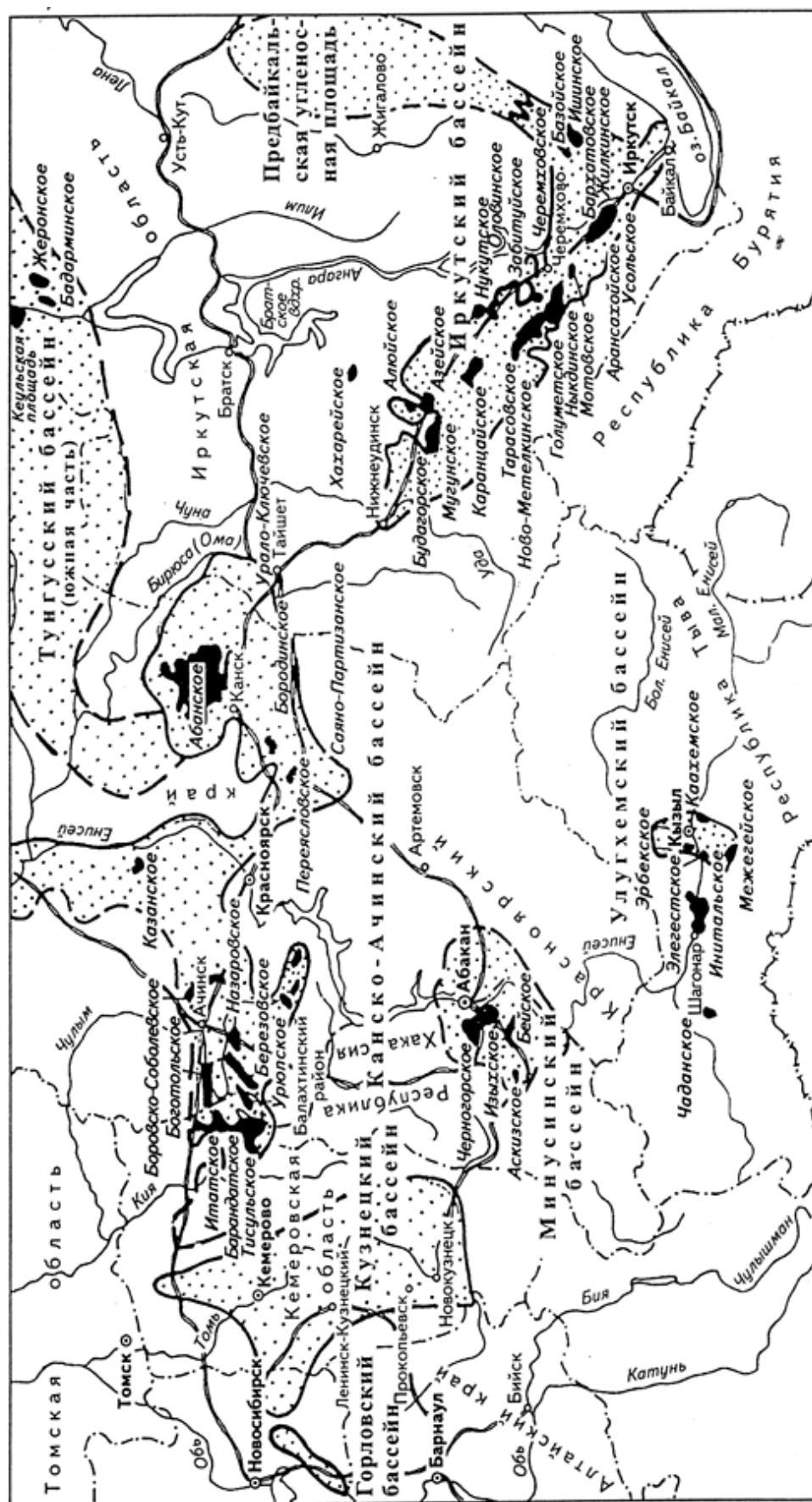


Рис. 1. Обзорная карта угольных бассейнов Южной Сибири
Fig. 1. Overview map of the coal basins of Southern Siberia

Девонский этап отличается наименьшей угленосностью, поскольку в этот период центральная и западная части Восточно-Европейской платформы входили в аридную зону и лишь северо-восток этой платформы, Западная Сибирь и Казахстан находились в зоне тропического и влажного климатов. В ней сформировались многочисленные, но незначительные углепроявления (Западная Сибирь) и небольшая группа месторождений угля: Волонгское (верхний девон) на Тимане, Барзасский район в Кузбассе и Баян-Аульская группа в Казахстане (средний девон).

Угли среднего девона представлены главным образом липтобиолитами, верхнего девона – кларено-дюреновыми, мало отличающимися от углей нижнего карбона Донбасса и Подмосквового бассейна. Небольшое практическое значение имеет лишь Барзасский район, образовавшийся в субгеосинклинальной зоне Кузнецкого передового прогиба.

В карбоновый этап благодаря гумидному климату и пышному развитию влаголюбивой растительности на приморских равнинах мощное углеобразование достигает наибольшего масштаба в вестфальскую и стефанскую эпохи. Тропическая и субтропическая зоны, вытянутые с северо-запада на юго-восток, занимали почти всю территорию европейской части бывшего Союза до линии Новая Земля – оз. Балхаш; восточнее располагалась область более холодного климата, с ангарской флорой, преобладанием кордаитов вместо господствующих в европейской части древовидных представителей – плауновых и папоротников. С карбоновым этапом связано образование наиболее важных в промышленном отношении угольных бассейнов: Донецкого, Кузнецкого, Карагандинского с большим количеством пластов и высокой угленасыщенностью, разнообразием углей – от антрацитов до углей, переходных к бурым (рис. 2).

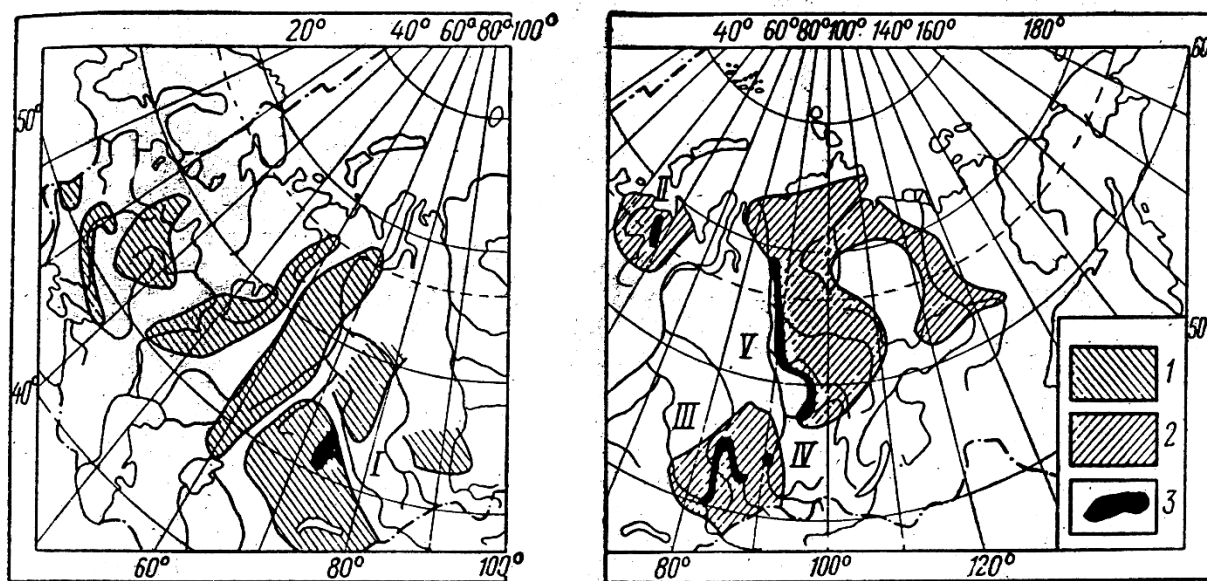


Рис. 2. Схема распределения угленакопления в карбоновую (а) и пермскую (б) эпохи: 1 и 2 – карбоновая и пермская угленосные территории; 3 – районы и бассейны с мощными пластами: I – Экибастуз-Куучекинский, II – Печорский, III – Кузнецкий и Горловский, IV – Минусинский, V – Западно-Тунгусский.

Fig. 2. Distribution of coal accumulation during the Carboniferous (a) and Permian (b) periods: 1 and 2 – Carboniferous and Permian coal-bearing regions; 3 – regions and basins with thick coal seams: I – Ekibastuz-Kuuchekinsky, II – Pechorsky, III – Kuznetsky and Gorlovsky, IV – Minusinsky, V – West Tunguska.

По тектоническим условиям наиболее благоприятными были заложенные в девоне или несколько ранее передовые прогибы, на площади которых при сохранении признаков первичных генетических границ выделяются все три или две зоны геотектонического режима – геосинклинальная, переходная и платформенная.



В пермский этап расширяются наметившаяся уже в позднем карбоне общая аридизация и распространение кордаитовых с присущим им более значительным, чем у лепидодендровых, развитием древесины, обусловившим преобладание блестящих и полублестящих полосчатых углей при малом содержании в них споровых элементов.

С пермским этапом угленакопления связано образование самого крупного на Земном шаре Тунгусского бассейна, расположенного на Сибирской платформе. Другие крупные бассейны – Кузнецкий, Таймырский и Печорский – сформировались в краевых или унаследованных прогибах.

В раннемезозойском этапе резкое увеличение аридизации и развитие ксерофитной флоры к началу рэта сменилось повышением гумидизации климата. Для этого этапа характерно существование трех палеоботанических зон: 1) хвойно-гинкговых лесов – в Сибири и части Казахстана, 2) цикадофитов и теплолюбивых папоротников – от Донбасса через Кавказ в южные области Средней Азии и 3) смешанных хвойных и цикадофито-гинкговых лесов – от Прибалтики через Южный Урал и Приуралье в северные области Средней Азии. Несмотря на такие климатические и флористические различия, петрографический тип углей отличается однородностью: более 90% углей представлено гелитолитами. Главные угленосные площади этапа – Канско-Ачинский, Иркутский и Южно-Якутский бассейны; развитие первого из них происходило в условиях платформенного режима различной степени интенсивности, Южно-Якутского – в передовом (Пристановом) прогибе (рис. 3).

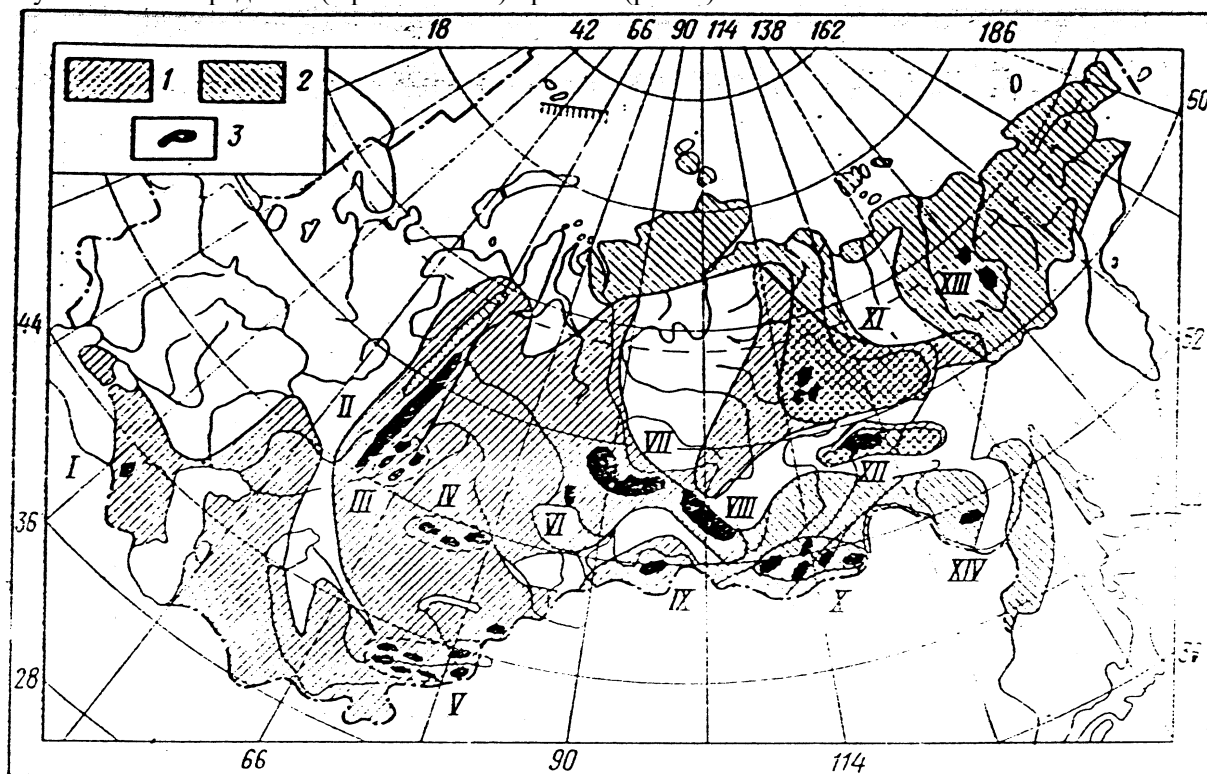


Рис. 3. Схема распределения угленакопления в нижнемезозойскую (1) и верхнемезозойскую (2) эпохи, 3 – районы и бассейны с мощными пластами: I – Закавказский, II – Восточно-Уральский, III – Тургайский, IV – Центрально-Казахстанский, V – Тяньшаньский, VI – Центрально-Кузнецкий, VII – Канско-Ачинский, VIII – Иркутский, IX – Улугхемский, X – Забайкальский, XI – Вилуйский, XII – Алданский, XIII – Колымский, XIV – Буреинский.

Fig. 3. Schematic representation of coal accumulation distribution during the Lower Mesozoic (1) and Upper Mesozoic (2) periods; 3 – regions and basins with thick coal seams: I – Transcaucasian, II – East Ural, III – Turgai, IV – Central Kazakh, V – Tien Shan, VI – Central Kuznetsk, VII – Kansk-Achinsk, VIII – Irkutsk, IX – Ulu-Khem, X – Transbaikal, XI – Vilyuy, XII – Aldan, XIII – Kolyma, XIV – Bureya.

Позднемезозойский этап в начальной стадии (до мела) еще сохранял климатическую зональность и элементы аридизации предыдущего этапа; затем в апте и альбе повысились влажность и среднегодовая температура до 10 °С в Сибири, включая Забайкалье, а в Причерноморье и Средней Азии – до субтропической. Для флористического комплекса характерно более значительное участие хвойных, вытеснивших господствовавшие на раннемезозойском этапе папоротники. В петрографическом спектре углей резко преобладают угли гелитолитового типа.

Угольные бассейны и месторождения к западу от Верхоянья развивались в условиях платформенного режима, в более восточных регионах широкое развитие получил в заложенных в раннем мезозое прогибах геосинклинальный режим. К этому этапу относится образование второго по величине, площади и ресурсам углей Ленского бассейна в передовом прогибе Верхоянской геосинклинали, несравнимо меньших – Буреинского бассейна в таком же прогибе Сихотэ-Алинской геосинклинали, Зырянского – в передовом прогибе Яно-Колымской геосинклинали и ряд других более мелких бассейнов и месторождений.

В кайнозойский этап в результате похолодания к концу олигоцена зона умеренного климата с широколиственной и хвойной флорой переместилась к югу, в умеренно холодном климате Сибири развилась зона тайги. К плиоцену расположение ландшафтных зон и их конфигурация стали близкими к современным. Обычно бурые угли этого этапа представлены различными петрографическими типами: около 2/3 их принадлежит гелитолитам и гелитолито-аттитам. Проявления геотектонических процессов сосредоточились на молодых платформах, а в крайней восточной части страны – во внутреннем прогибе Приохотской геосинклинали (рис. 4).

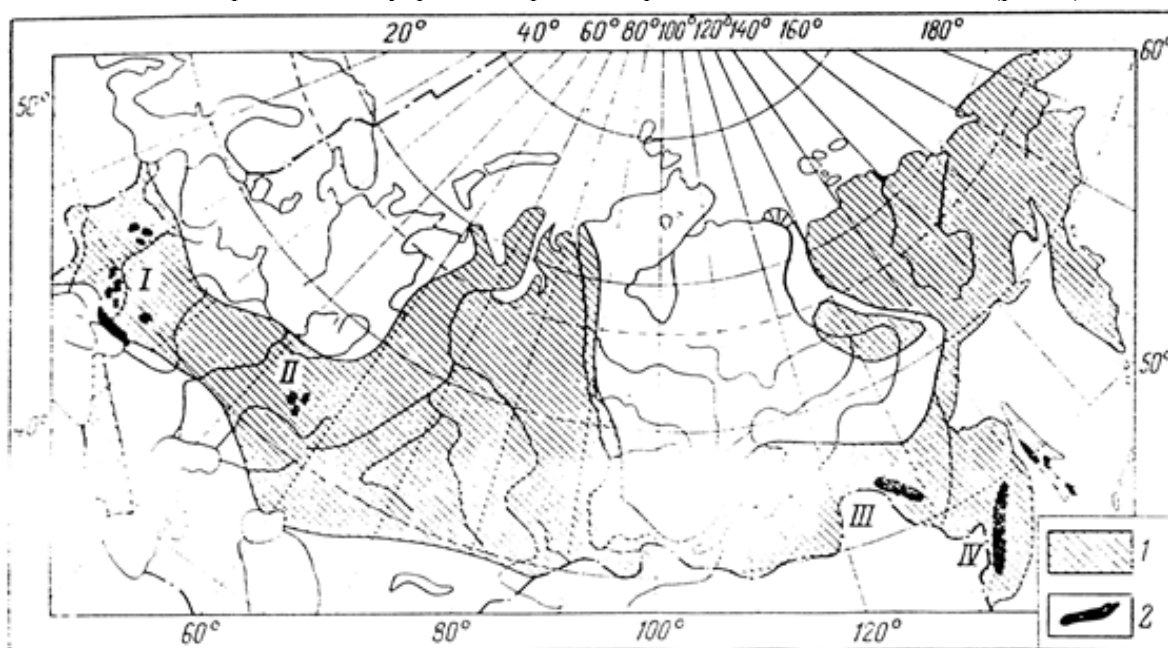


Рис. 4. Схема распределения угленакопления в кайнозойскую эпоху: 1 – угленосная территория; 2 – районы и бассейны с мощными пластами; I – Южно-Белорусский и Днепровский; II – Южно-Уральский; III – Свободненский; IV – Бикино-Уссурийский; V – Сахалинский.

Fig. 4. Schematic representation of coal accumulation during the Cenozoic Era: 1 – coal-bearing territory; 2 – regions and basins with thick coal seams; I – South Belarusian and Dnieper; II – South Ural; III – Svobodnensky; IV – Bikino-Ussuri; V – Sakhalin.

В пределах Восточно-Европейской платформы с локальными депрессиями платформенного типа связаны наиболее мощные пласты бурых углей (120 м на Кривлевском месторождении Урала, 74 м на Новодмитровском в Донбассе). К многочисленным угленосным площадям,



имеющим небольшое промышленное значение, относятся: Днепровский, Южно-Уральский, Угловский бассейны, месторождения о. Сахалина, Анадырское, Реттиховское.

Усматривается закономерное распределение генетических типов депрессий угленакопления (угленосных геологических формаций) в хроностратиграфическом разрезе. Так, все основные угольные бассейны каменноугольного возраста (Донецкий, Карагандинский, Подмосковский, Кизеловский и др.) образовались в депрессиях регрессивно-морского происхождения.

Бассейны пермского возраста сосредоточены в предгорных или межгорных регрессивно-морских депрессиях. Угольные месторождения триасового возраста возникли преимущественно в тектонических (грабеновых или приразломных) депрессиях. Депрессии юрского возраста характеризуются значительным генетическим разнообразием. Они связаны своим происхождением с межгорными или предгорными континентальными и регрессивно-морскими, а также с тектоническими и эрозионно-тектоническими депрессиями.

Меловые (в частности, верхнемеловые) и палеоген-неогеновые угольные месторождения образовались в депрессиях регрессивно-морского, эрозионного, тектонического и эрозионно-тектонического происхождения.

Таким образом, в процессе развития Земли происходило усложнение генетических типов депрессий, но усложнение неравномерное. Прогрессирующее усложнение отмечалось от девона до перми включительно и от триаса до третичного времени. Триасовое время является переломным. С ним связана денудация возникших в палеозойское время горных сооружений и развитие разломов, обусловивших образование сравнительно однотипных депрессий тектонического или эрозионно-тектонического происхождения [9].

С каменноугольным периодом связано развитие угленосных отложений паралического угленакопления, с пермским – паралическое и континентальное, с триасовым – континентальное. Юрское и меловое угленакопления существенно континентальные, однако заметную роль играло и паралическое. Палеоген-неогеновому возрасту угленосных отложений отвечает главным образом континентальное угленакопление; паралическое имело подчиненное значение [9].

Угленосные (угольные) бассейны, площади, провинции

Угленосный бассейн – это крупная (тысячи квадратных километров) площадь непрерывного или прерывистого залегания угленосных отложений (угленосной формации, толщи) с подчиненными им пластами угля ряда месторождений и общими условиями геолого-исторического процесса накопления осадков в единой крупной тектонической структуре [32].

В угленосных бассейнах запасы ископаемого угля составляют миллиарды и десятки миллиардов тонн. К примеру, в Кузнецком угольном бассейне запасы угля более семидесяти миллиардов тонн. Прогнозные ресурсы – сотни миллиардов тонн.

Угленосные бассейны связаны единством процессов образования угля и последующих его изменений. В бассейне, как правило, располагается несколько месторождений.

В пределах угольных бассейнов выделяются геолого-промышленные районы с месторождениями угля [31].

Различаются угленосные бассейны двух типов по признакам фациального состава угленосных толщ: лимнический (озерный) и паралический (прибрежный).

Бассейн угленосный лимнический характеризуется преобладанием в угленосной толще озерных (лимнических) отложений.

Бассейн угленосный паралический характеризуется преобладанием в угленосной толще прибрежно-морских (паралических) отложений, многократно переслаивающихся с континентальными [14].

Угленосные бассейны по характеру тектонических движений подразделяются на три типа: геосинклинальный, платформенный и переходный (табл. 3).

Для геосинклинальных угленосных бассейнов характерна очень большая мощность угленосных отложений (до 10-15 км) с четкой перемежаемостью пород различного состава,



значительное число (до нескольких сотен) пластов каменных углей умеренной мощности, их выдержанность. Примером является Кузнецкий угольный бассейн.

Таблица 3. Генетическая классификация угленосных бассейнов (по Г.А. Иванову [20, 26], с сокращениями)

Table 3. Genetic classification of coal-bearing basins (according to G.A. Ivanov [20, 26], with reductions)

Диагностический признак		Основной тип		
		геосинклинальный	переходный	платформенный
Мощность угленосных отложений		очень большая (километры)	большая (от нескольких километров до сотен метров)	малая (от сотен до десятков метров)
Фациальный состав угленосных отложений	по разрезу	характерна частая смена пород разного состава	менее частая смена пород (отложения распадаются на более или менее отчетливые песчаные и глинистые толщи)	наблюдается приуроченность грубозернистого материала к основанию угленосной толщи
	по площади	относительное постоянство на больших площадях (возможно, на сотни километров)	меньшее постоянство (на десятки километров)	большая изменчивость на коротких расстояниях (километры - сотни километров)
	по типу отложений	преимущественно прибрежно-морские	различные, главным образом сложной седиментации	преимущественно наземно-континентальные
Характер угленосности		большое количество (возможно сотни) преимущественно тонких, но достаточно устойчивых залежей угля, более или менее равномерно распределенных по разрезу; угли гумусовые	меньшее количество (десятки, реже сотни) более мощных, но менее устойчивых залежей угля, приуроченных главным образом к глинистым частям разреза; угли в основном гумусовые	малое количество (единицы, реже десятки) неустойчивых иногда большой мощности залежей угля, приуроченных чаще всего к нижней части угленосной толщи; угли гумусовые и сапропелевые

Платформенным угленосным бассейнам свойственны малая мощность угленосной толщи (от сотен метров и менее), наличие бурых углей в пределах десятка или первых десятков пластов небольшой мощности; залегание угленосных отложений горизонтальное, слабонаклонное – к примеру, Тунгусский угольный бассейн Сибирской платформы.

Для бассейнов переходного типа характерны промежуточные значения мощности угленосной толщи и пластов углей, так же как и количество последних, и степень их устойчивости по сравнению с бассейнами двух крайних типов (геосинклинального и платформенного). Особенностью тектонического строения бассейнов переходного типа является развитие в них брахиантиклинальных, то есть овальной формы, складок, в том числе куполовидных [15].

Вместе с тем в одном и том же угольном бассейне, особенно там, где более или менее сохранились первичные генетические границы, имеют место все три или два смежных типа. Такие угленосные бассейны называются политипными (Донецкий, Кузнецкий и некоторые другие).

При определении размеров и границ угленосных бассейнов наблюдаются три случая:

1. Вся площадь, занятая угленосными отложениями, выходит на дневную поверхность, причем угольные пласты и вмещающие их породы могут быть перекрыты наносами. Такие бассейны называют открытыми (например, Кузнецкий бассейн).



2. На дневную поверхность выходит только часть угленосных отложений, другая же часть закрыта более молодыми отложениями, маскирующими действительные границы и площадь угленосных отложений; эти бассейны называют полуоткрытыми или полужакрытыми (например, Донецкий и Карагандинский бассейны).

3. Угленосные отложения сплошь закрыты более молодыми образованиями.

В этом случае границы и площадь бассейна могут быть установлены только горными и буровыми разведочными работами. Такие бассейны называют закрытыми (например, Челябинский бассейн) [17].

Всего в мире учтено 2900 угольных объектов. Из них к бассейнам-гигантам с прогнозными ресурсами свыше 500 млрд т принадлежат семь: Тунгусский, Ленский, Таймырский, Канско-Ачинский, Кузнецкий, Алта-Амазона (Южная Америка) и Аппалачский (США). За ними следуют четыре менее крупных бассейна с запасами угля от 500 до 200 млрд т – Донецкий, Печорский, Нижнерейнско-Вестфальский (ФРГ) и Иллинойс (США).

Важнейшие показатели угленосности угольных бассейнов - коэффициент угленосности и углеплотность.

Коэффициент угленосности выражается процентным отношением суммарной мощности всех или только рабочих угольных пластов к общей мощности содержащих их угленосной формации, свиты, горизонта. В первом случае он отражает общий масштаб углепроявления соответствующего стратиграфического или литологического подразделения, во втором - его промышленную продуктивность [35]. По А.И. Кравцову [17], коэффициент угленосности (К) есть частное от деления суммарной мощности угольных пластов (h) на мощность толщи (Н), заключенной между верхним и нижним пластами угля, выражаемое в процентах: $K = h \cdot 100 / H$.

Коэффициент угленосности служит для характеристики степени угленасыщенности, используется при подсчете запасов угля [14].

Углеплотность оценивается количеством запасов угля в угленосной формации (свите, горизонте), приходящимся на единицу площади ее общего распространения или в принятых границах геолого-промышленной оценки. По [17] углеплотность (1 т/км²) - количество угольной массы Q в тоннах, приходящееся на 1 км² площади месторождения ($K_{\text{упл}} = Q/F$).

Угленосная площадь

К угленосной площади (области) обычно относят менее изученные по сравнению с угольным бассейном крупные, с отдельными углепроявлениями площади. Генетическое единство углепроявлений, как и промышленное значение, не выяснено.

Угленосная провинция – обширная (громадная) площадь углеобразования, включающая ряд угольных бассейнов и месторождений, сходных по стратиграфическому положению, условиям образования, угленосности и закономерностям их изменения (Забайкальская, Московско-Уральская и другие угленосные провинции). Соответственно, угленосность – это есть совокупность данных о количестве пластов угля, распределении их по угленосной площади, мощности, форме залежей, химико-технологической характеристике и т.д. [14, 17].

Основные черты геологического строения угольных месторождений

Угленосные толщи

Под угленосной толщей понимается комплекс осадочных пород, содержащих угольные пласты. Обычно угленосная толща представлена монотонным чередованием песчано-глинистых пород от мелкозернистых до грубозернистых и даже галечных. Слои известняков редки и часто небольшой мощности. Известняки являются характерными маркирующими горизонтами для построения стратиграфического разреза угленосной толщи и увязки в ней отдельных угольных пластов.

Во вмещающих угольные пласты осадочных породах угленосной толщи по крупности зерна различают конгломераты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Аргиллиты в связи с высокой степенью метаморфизма представляют собой, по существу, глинистые сланцы. Алевролиты – породы промежуточные между песчаниками и аргиллитами и обычно описываются как песчано-глинистые сланцы.



Цвет пород обычно серый, иногда с зеленоватыми или голубоватым оттенками. Характерно разнообразие типов слоистости, причем наряду с горизонтальной встречается волнистая и косая слоистость [17].

Условия образования угленосной толщи разнообразны. Это многофациальные образования, то есть осадочные образования, накапливающиеся в различных геологических и природных континентальных условиях - болотных, речных долин и т.д.

В сколько-нибудь значительном развитии угли приурочиваются строго к площадям гумидных зон, за пределы которых они не выходят.

Зона гумидная – климатическая зона океана, в пределах которой количество выпадающих за год атмосферных осадков превышает испарение с водной поверхности. Выделяют северную и южную умеренные и экваториальную (тропическую) зоны, примерно соответствующие по широтам одноименным зонам суши.

Главная масса углей возникла в прошлом на территории умеренного климата и лишь второстепенная в тропическом влажном.

Для возникновения угленосной толщи необходимы следующие условия: медленное опускание площади угленакопления, в результате этого осадки покрываются новыми слоями, сохраняются и переходят в ископаемое состояние. Величина и скорость опускания важны для образования пластов торфа, а в последствии и угля. Совпадение уровня грунтовых вод с земной поверхностью – главное условие появления торфяного болота. Это совпадение обеспечивает развитие болотной растительности, а также сохранение отмирающих растений от немедленного окисления.

При условии медленного тектонического опускания и одновременного поднятия уровня грунтовых вод торф может длительное время нарастать сверху, образуя толщу значительной мощности. Она дает в свою очередь мощный угольный пласт.

Слишком быстрое опускание площади угленакопления, за которым не успевает рост торфа, вызывает затопление болота и накопление на его месте речных, озерных, лагунных или морских осадков образовавшегося водоема.

Многочисленное чередование пластов угля с вмещающими породами, характерное для большинства угленосных толщ, объясняется неравномерным опусканием местности в эпоху угленакопления или чередованиями опусканий с поднятием при обязательном условии преобладания опускания. Мощность образующейся таким путем угленосной толщи - следствие общей величины тектонического опускания, происходящее во время ее накопления. Именно поэтому платформенные участки земной коры характеризуются относительно небольшой мощностью угленосных толщ – от единиц и десятков метров до немногих сотен метров, а в геосинклинальных условиях – до нескольких тысяч метров.

Циклическое строение угленосных толщ.

Накопление осадков в угленосных толщах происходило с определенной периодичностью, то есть процесс осадконакопления как бы прерывался и возобновлялся в определенной последовательности. Такую закономерную повторяемость (ритмичность) в осадконакоплении называют циклической седиментацией. Последовательность пород в цикле разная в разных типах осадочных формаций (толщ). Например, в разрезе угленосной толщи полный цикл составляют (сверху вниз): 1) континентальные песчаники; 2) морские известняки и глинистые сланцы; 3) угли; 4) глины, подстилающие угли. Континентальные песчаники образовались при регрессии моря (его отступлении, осушении морского бассейна); известняки, сланцы, угли образовались при трансгрессии моря (его наступлении, углублении морского бассейна).

Разрезы угленосных толщ многих угольных бассейнов показывают, что данный участок земной коры (бассейн) неоднократно погружался под уровень моря при трансгрессии и вновь становился сушей при регрессии. Тем самым повторялась как смена морских осадков континентальными, так и смена циклов осадконакопления. Число циклов осадконакопления в некоторых бассейнах доходит до нескольких десятков [17], а длительность образования угленосных толщ исчисляются сотнями тысяч и миллионами лет [36].

Месторождения угля

Под угольным месторождением понимается часть угольного бассейна. Например, Кемеровское или Прокопьевское месторождения Кузбасса. Угольное месторождение может также представлять собой обособленно залегающую угленосную толщу, небольшую по площади распространения и запасам угля. Например, месторождения углей Средней Азии и Забайкалья.

Угольное месторождение - естественное скопление угленосных отложений с пластами угля, занимающее определенное стратиграфическое положение в осадочной толще земной коры. Площадь угольных месторождений десятки, редко сотни квадратных километров.

Пласты угля должны отвечать требованиям промышленности, то есть быть пригодными для экономически эффективной разработки.

Угольные пласты, их строение

Угольные пласты – составная часть угленосной толщи (формации). Под угольным пластом понимают весь комплекс осадочных слоев органического и неорганического происхождения, распространенных на значительной площади и заключенных между породами почвы и кровли пласта (рис. 5).

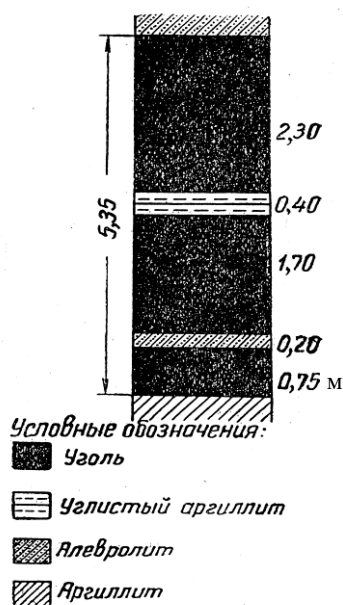


Рис. 5. Пласт сложного строения

Fig. 5. A complex-structured seam

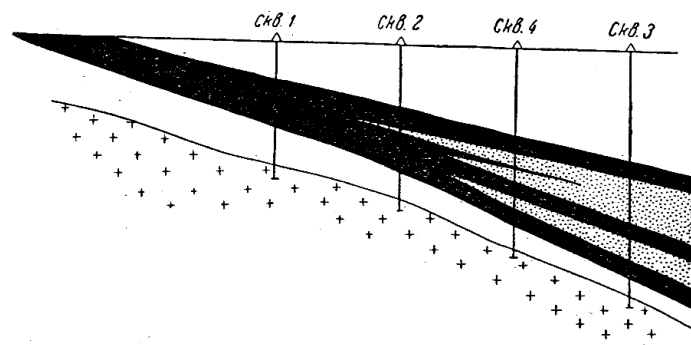


Рис. 6. Расщепление простого пласта в сложный с последующим переходом пачек в самостоятельные угольные пласты: по скв. 1 – простой пласт, по скв. 2 – сложный, по скв. 3 – три пласта

Fig. 6. The splitting of a simple seam into a complex one, followed by the separation of the bundles into independent coal seams: in well 1 – a simple seam; in well 2 – a complex seam; in well 3 – three seams

Порода, непосредственно подстилающая угольный пласт, является его почвой (подошвой), а покрывающая – кровлей [37].

Пачки угля

Угольные пласты обычно сложены из нескольких пачек угля (частей угольного пласта), разделенных углистыми аргиллитовыми, алевролитовыми слоями, прослойками пород, называемых прослойками пустой породы (рис. 5). Угольной пачкой считается часть угольной массы пласта, заключенная между породой [22].

Пачки угля, отделенные от основного угольного пласта прослоем породы, относятся к пласту только в том случае, если мощность отделяющего породного прослоя меньше или равна мощности отделяемой им угольной пачки. Если же мощность его больше, то пачка рассматривается как самостоятельный угольный пласт [9] (рис. 6). При отсутствии прослоев пород угольный пласт складывается сплошной массой угля. В первом случае пласт называется сложным, так как угольная масса расчленяется на части (пачки) заключенными между породными прослоями (рис. 5); во втором случае угольный пласт называется простым (простого строения без прослоев породы) (рис. 7). В Кузнецком бассейне преобладают пласты сложного строения.

Если простой угольный пласт сохраняет свое строение на всем протяжении, то его можно рассматривать как пласт непрерывного накопления. Сложные пласты являются пластами прерывистого накопления угля, то есть они связаны с изменениями характера накопления или с остановками в процессе накопления растительной массы.

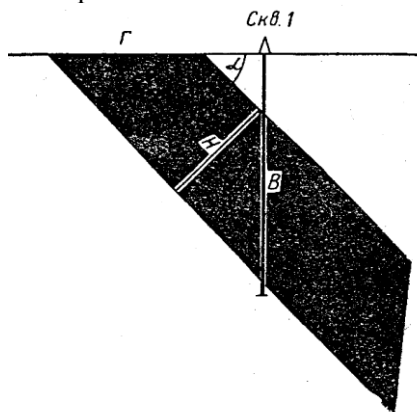


Рис. 7. Мощность угольного пласта: г – горизонтальная, в – вертикальная (наклонная), н – нормальная (истинная)

Fig. 7. Thickness of a coal seam: g – horizontal, v – vertical (inclined), n – normal (true)

Строение угольных пластов является одним из основных факторов, определяющих технологию их разработки и способы подготовки угля к использованию в промышленности.

Сумма угольных пачек угольного пласта, выбираемых при его эксплуатации, составляет полезную мощность, которая и входит в подсчет запасов.

Выделяют также рабочую мощность, то есть минимально-предельную (минимально-кондиционную), при которой в данных условиях (технических, экономических и др.) пласт выгодно эксплуатировать.

Рабочим угольным пластом следует называть такой комплекс угольных пачек (или одну пачку) и породных прослоев, который имеет средневзвешенную зольность не выше, а суммарную мощность угольных пачек – не ниже установленных кондициями для балансовых запасов по данному месторождению.

Нерабочим пластом считается такой, который не удовлетворяет требованиям кондиций по мощности и зольности [31].

Почва и кровля угольного пласта, находясь в тесной связи с ним, представляют интерес с точки зрения практики горных работ и познания природы углей. Характер почвы и кровли угольного пласта оказывают существенное влияние, например, на выбор системы разработки месторождения, чистоту вынимаемого угля.



В большинстве случаев почвой угольных пластов служат глинистые породы, реже песчаники и в исключительно редких случаях известняки. В глинистых почвах часты различные растительные остатки (корневища растений и др.). Песчаниковая почва всегда отделяется от угольного пласта прослоем глинистой породы.

Кровля угольных пластов, то есть перекрывающие угольный пласт породы, большей частью представлена глинистыми сланцами и реже песчаниками, исключительно редко - известняками. Растительные остатки пород кровли часто превращены в блестящий уголь. В песчаной кровле встречаются различные минеральные образования: желваки пирита FeS_2 , известково-глинистые конкреции, сферосидериты FeCO_3 и т.д. В песчаниковой кровле обнаруживаются обломки минерализованных стволов деревьев или стволов, превратившихся в уголь.

Породные прослои в пластах угля встречаются довольно часто от сантиметров до десятков сантиметров. Они представлены преимущественно глинистыми породами: аргиллитом, алевролитом, реже тонкозернистым песчаником. Иногда породные прослои тонко переслаиваются с углистым материалом. Тогда образуется высокозольный уголь, подчас не пригодный для эксплуатации. Подобные углисто-глинистые пачки приурочиваются преимущественно к почве или кровле угольных пластов.

Количество угольных пластов на месторождении в значительной степени зависит от генетического типа бассейна (геосинклинального, платформенного, переходного). В геосинклинальных бассейнах оно иногда исчисляется сотнями, а в платформенных - лишь немногими единицами.

Морфология угольных пластов, их мощность. Подразделение по выдержанности (устойчивости) мощности, строения и качества

Основные формы залегания углей – пластовые и линзовидные тела от сотен квадратных метров до сотен и даже тысяч квадратных километров. Мощность угольных пластов от сантиметров до нескольких десятков, редко до первых сотен метров (угольная залежь).

Угольные пласты могут расщепляться на мелкие пачки, прослойки и выклиниваться. Формы расщепления и выклинивания разнообразны (рис. 8). Иногда они приобретают причудливую форму, напоминающую рыбий или конский хвост.

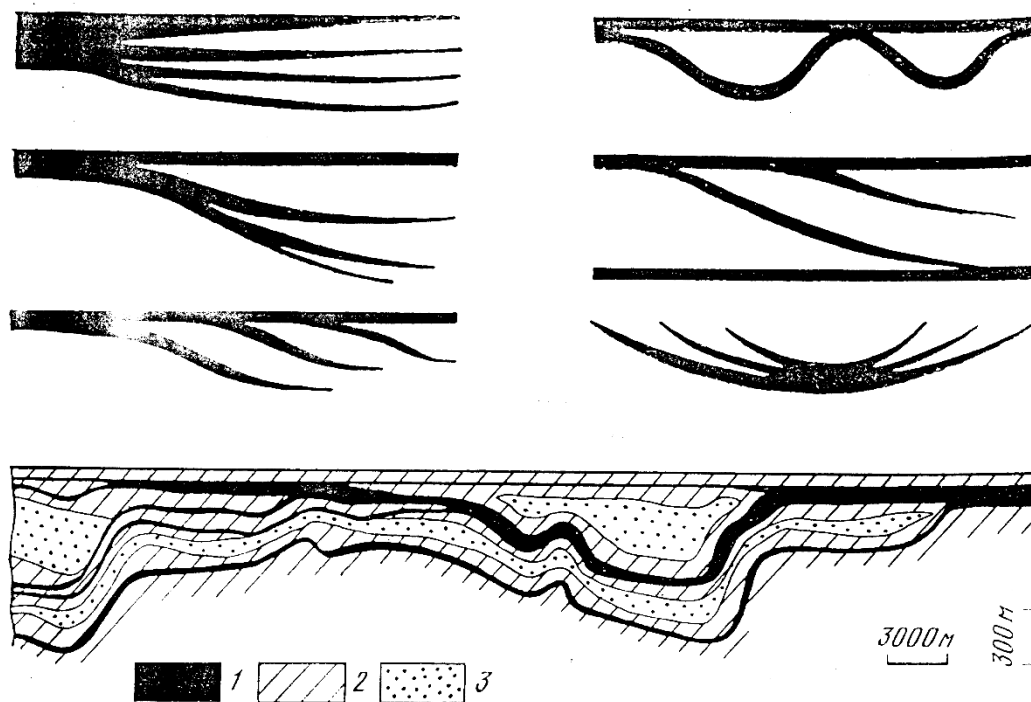


Рис. 8. Типы расщепления угольных пластов. 1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 – алевролит
Fig. 8. Types of coal seam cleavage. 1 – coal; 2 – argillite (mudstone); 3 – siltstone



Морфология пласта влияет на ведение горных работ, потери угля и качество добываемой горной массы. Морфологические особенности пласта определяются главным образом фациальными условиями углеобразования и последующей тектонической деятельностью.

Фациальные изменения формы угольной залежи проявляются в выклинивании, расщеплении и фациальном замещении, в размывах, залегании на неровном ложе [22].

Мощность угольного пласта может сильно изменяться, то есть быть невыдержанной. Это изменение происходит под влиянием неровности дна торфяных болот; неравномерного накопления растительного материала вследствие различной скорости погружения отдельных частей торфяного болота. Изменение мощности угольного пласта происходит и вследствие размыва или смыва части пласта наступающим морем или движущимися водами озерного водоема, также под влиянием тектонического воздействия.

После образования угольного пласта он нередко подвергается частичному разрушению, зависящему от отложения последующих осадков. В срезании (разрушении) угля пластов участвуют три основных фактора: эрозионный размыв текучими водами, смыв водами морских трансгрессий (наступлениями моря на сушу) и выпахивающее действие ледника [17].

Выдержанность мощности и строения угольных пластов относится к основным факторам, определяющим промышленную ценность месторождения и условия его разработки.

По степени выдержанности (устойчивости) мощности, строения и качества выделяют три группы угольных пластов:

1) выдержанные, когда мощность, строение пласта и качество углей в пределах шахтного поля, а нередко и нескольких шахтных полей имеют незначительные отклонения от средних, характерных для этой площади величин; участки с нерабочей мощностью пласта (меньше минимально-промышленной) отсутствуют. При этом отклонения от средней величины общей мощности для тонких пластов, как правило, не превышает 20%. Для пластов средней мощности оно не более 25%. Строение пласта однородно;

2) относительно выдержанные, когда в пределах шахтного поля мощность, строение пласта и основные показатели качества углей существенно варьируют, но на большей части шахтного поля пласт не утрачивает промышленного значения; при наличии нерабочих участков пласта установлена отчетливая закономерность изменения показателей, обуславливающих переход рабочего пласта в нерабочий. При этом отклонения от средней величины общей мощности для тонких пластов, как правило, не превышают 35%, а для пластов средней мощности – 50%; установлены закономерности пространственного изменения морфологии пласта.

3) невыдержанные, когда вследствие резкой изменчивости мощности, строения пластов или показателей качества углей они на многих локальных участках в пределах шахтного поля утрачивают рабочее значение [22, 31].

Подразделение угольных пластов по мощности.

В соответствии с Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, в отечественной практике разведки угольные пласты по мощности подразделяются на группы: весьма тонкие (до 0,7 м), тонкие (0,71-1,2 м), средней мощности (1,25-3,5 м), мощные (3,51-15 м) и весьма мощные (более 15 м).

Для подземной разработки угля пласты разделяются на тонкие (до 1,2 м), средней мощности (1,2-4,5 м) и мощные (более 4,5 м).

Для открытой разработки к тонким относят пласты мощностью до 2 м, к средним – от 2 м до 15-20 м (в зависимости от угла падения), к мощным – свыше 15-20 м.

Преобладающая мощность угольных пластов в природе относится к весьма тонким и тонким, значительное число – к группе средней мощности.

Угольные пласты средней мощности (1,25-3,5 м) являются основными объектами подземной разработки углей. Однако в добыче каменных углей значительная ее доля приходится на тонкие пласты (0,7-1,2 м).



Высокой масштабностью распространения мощных и сверхмощных угольных пластов характеризуется мезозойское углеобразование (230-65 млн лет) – Забайкалье, а также кайнозойское (Днепропетровский, Южно-Уральский бассейны).

Угли мощных и сверхмощных пластов (залежей) верхнепалеозойского возраста в основном каменные и антрациты, мезозойского – преимущественно бурые, иногда каменные (Нерюнгринское месторождение Южно-Якутского бассейна). Кайнозойские угли в основном бурые.

Условия залегания угольных пластов и группы сложности месторождений по геологическому строению

Залегание угольных пластов различается по углам их падения, основным пликативным формам, степени нарушенности их дизъюнктивными структурами. Всё это позволяет классифицировать угольные месторождения по степени сложности залегания угольных пластов.

Классификация угольных пластов по углу падения не имеет однозначного толкования. Так, в классическом труде акад. В.В. Ржевского [41] пласты делятся на:

- пологие, характеризующиеся слабонаклонным (до 8-10°) и волнистым залеганием основной части залежи; частным случаем являются горизонтальные залежи;
- наклонные, с углами падения от 8-10 до 25-30°;
- крутонаклонные, с углами падения более 25-30°;
- крутые, с углами падения 56-90°.

Кроме этого, выделяются пласты сложного залегания, отличающегося переменным направлением падения залежи.

Согласно Васючкову Ю.Ф. [42], угольные пласты по углу падения (и в зависимости от способа разработки) делят следующим образом:

Способ разработки	Угол падения пласта, градус	Тип пласта
Подземный	0-18	Пологий
	19-35	Наклонный
	36-55	Крутонаклонный
	56-90	Крутой
Открытый	0	Горизонтальный
	до 10	Пологий
	10-30	Наклонный
	свыше 30	Крутой

Однако по нормативному документу [43] угольные пласты, разрабатываемые открытым способом, делятся всего лишь на три группы: пологопадающие – 6-15°, наклонного падения – 15-30° и крутопадающие – более 30°.

На наш взгляд, более удачной, по крайней мере, в области открытой разработки угольных месторождений, является классификация проф. В.Ф. Колесникова [38, 39], согласно которой по углу падения различают следующие пластовые залежи:

- горизонтальные с углом падения 0÷5° (5° – допустимый угол для работы экскаваторов без дополнительного горизонтирования площадки для их установки);
- пологие – угол падения пласта от 6 до 14°, что обусловлено возможностью размещения внутреннего отвала на поверхности, имеющей такой угол наклона;
- наклонные – с углами падения от 15° до 45° (45° – предельный угол откоса нерабочего борта по критериям устойчивости и безопасности);
- крутые – с углами падения 46÷90°.

Основным преимуществом данной классификации является четкое толкование причины отнесения пласта к той или иной группе и привязка к конкретному углу залегания, а не к диапазону, а также полный охват углов от 0 до 90°.

Пликативные структуры, их морфологические типы

Основные пликативные формы залегания угольных пластов месторождений: горизонтальное и близкое к нему полого-волнистое, моноклинальное; складчатое в антиклинальных, синклиналиных, куполовидных, изоклинальных и других складках. В зонах линейной складчатости наблюдается чередование крутых и узких синклиналиных и антиклинальных складок (рис. 9-11).

Развитые на угольных месторождениях пликативные структуры весьма разнообразны по размерам: их основные параметры колеблются от нескольких метров до десятков и сотен километров, в том числе амплитуды самых крупных складок, то есть глубина их погружения, достигают 10-12 км, ширина складок – десятки километров, а протяженность – 100 км и более [40].

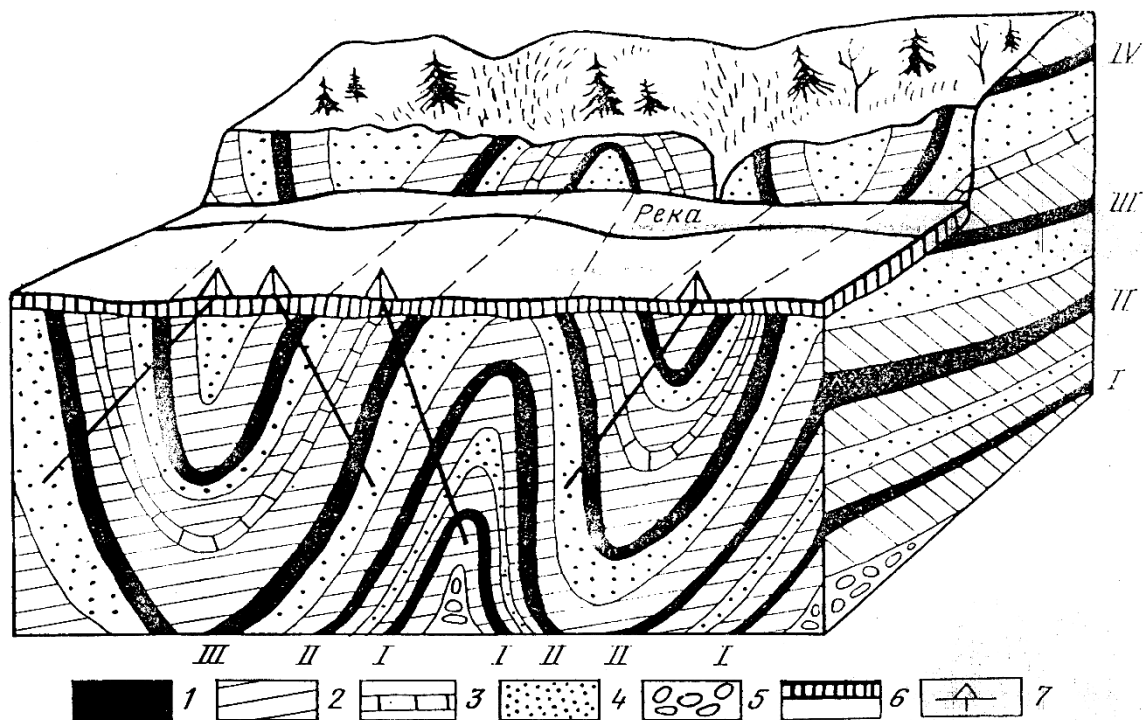


Рис. 9. Характер залегания угольных пластов. 1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 – известняк; 4 – песчаник; 5 – конгломерат; 6 – покровные отложения; 7 – буровая скважина
Fig. 9. Characteristics of coal seam occurrence. 1 – coal; 2 – argillite; 3 – limestone; 4 – sandstone; 5 – conglomerate; 6 – overlying sediments; 7 – drilling well

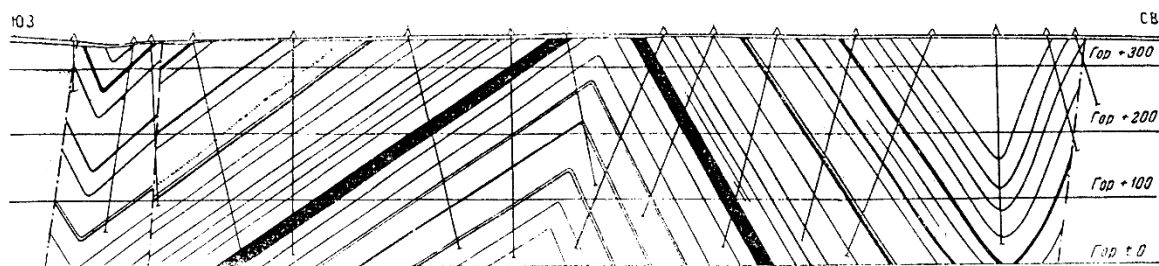


Рис. 10. Острые перегибы в складках угольных пластов Прокопьевского района Кузнецкого бассейна (по материалам треста «Кузбассуглегеология»)
Fig. 10. Sharp bends in the folds of coal seams in the Prokopyevsky District of the Kuznetsk Basin (based on data from the «Kuzbassuglegeologiya» Trust)

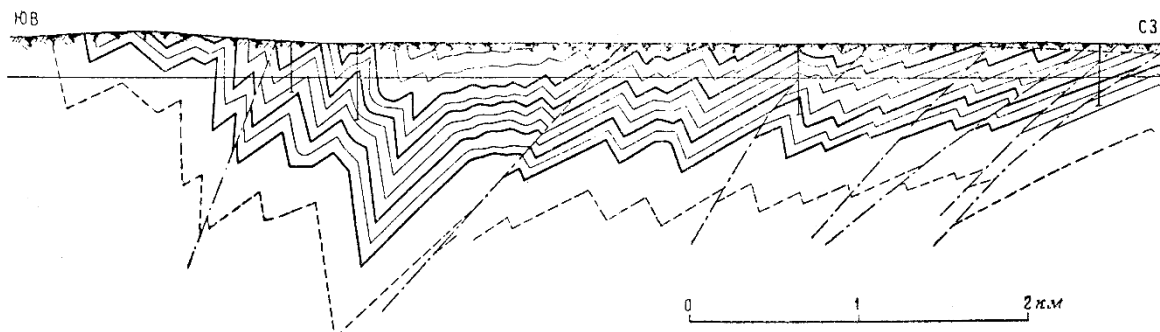


Рис. 11. Профиль Вурмской мульды Аахенского бассейна с зигзагообразными складками (по Вагнеру)

Fig. 11. Profile of the Wurm Trough in the Aachen Basin with zigzag folds (according to Wagner)

В складчатых месторождениях угля малоамплитудные пликативные нарушения проявляются в виде мелких складок, флексур (коленчатых изгибов) и их гофрировки.

Синклинальные складки, наиболее характерные для угленосной толщи, предопределены формой угленосных депрессий. При прогибании депрессий их форма (котловинная или синклинальная) обычно не нарушается. В угленосной толще при этом возникают синклинальные и антиклинальные складки второго и последующих порядков. В результате создаются синклинии, состоящие из серии синклинальных и антиклинальных складок. Так, например, Минусинский бассейн Западной Сибири представляет собой котловину с развитыми пологими синклинальными и антиклинальными складками. В Кузнецком бассейне на фоне котловины вырисовывается ряд сложных антиклинальных и синклинальных складок.

Для геосинклинальных и переходных бассейнов характерны линейные складки. В платформенных месторождениях и бассейнах они получают развитие близ горных сооружений, а также в зонах разломов, ограничивающих угольные месторождения, образовавшиеся в тектонических и эрозионно-тектонических депрессиях.

Изоклинальные складки известны на месторождениях с очень сложной тектоникой, таких как Полтавское. Широкого развития на угольных месторождениях они не имеют.

Складки угольных пластов характеризуются развитием острых форм замков. Примером служит Прокопьевское месторождение Кузбасса, особенно та часть его, которая сопряжена с Салаирским кряжем (рис. 10) [9].

Наиболее сложными формами складок и наивысшей интенсивностью их проявления чаще характеризуются угленосные формации бассейнов и месторождений, приуроченные к центральным зонам складчатых систем или к внутренним прогибам геосинклинали в период ее развития [40].

В целом комплексу структур месторождений центральных зон складчатых систем или внутренних прогибов геосинклиналей присущи: для нижних структурных ярусов – резко не выдержанные по мощности угольные пласты, асимметричные опрокинутые изоклинальные и веерообразные мелкие и очень мелкие складки, преимущественно дисгармоничного типа, разорванные последующими тектоническими нарушениями с послойным перемещением вещества, особенно угля, и частично инъецированные или разобщенные интрузиями; для верхних структурных ярусов при сохранении строения угольных пластов – сильная их нарушенность преимущественно сбросами с образованием отдельных, иногда очень мелких блоков.

При переходе геосинклинальной области в платформенную линейные складки с крутыми крыльями уступают место складкам с более пологими крыльями, а последние сменяются куполовидными (чашеобразными) и брахискладками.

В некоторых случаях на платформах конфигурация угольных залежей в плане и гипсометрия их почвы определяются палеорельефом базальной поверхности основания угленосной геологической формации в период накопления осадков.

В осадочном чехле краевых элементов платформ (краевых или, иначе говоря, передовых прогибах) наиболее широко распространены в угленосных толщах унаследованные моноклинали очень крупного и крупного класса размерности. По мере приближения к границе платформы моноклинали залегание пластов дополнительно осложняется пологими куполовидными, а затем брахиформными складками средней величины.

Дизъюнктивные нарушения

Кроме складчатых (пликативных), на месторождениях угля имеются разрывные (дизъюнктивные) нарушения угольных пластов – сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги и др. Их размер (амплитуда) меняется от первых сантиметров до сотен метров и километров [36]. Характерны сбросовые и сбросо-сдвиговые разрывные нарушения пластов угля и вмещающих их пород (рис. 12, 13). Тектонические нарушения разрывного характера встречаются почти на всех угольных месторождениях.

В угольных бассейнах установлена прямая коррелятивная зависимость амплитуды от протяженности разрыва: разрывы большой протяженности имеют и большую амплитуду.

Разрывные нарушения могут быть синхронными со складчатостью или наложенными. Наиболее распространены в угольных бассейнах и на месторождениях системы разрывных нарушений параллельного вида, часто встречаются разветвляющиеся и даже радиальные системы и их комбинации (рис. 12-в, г).

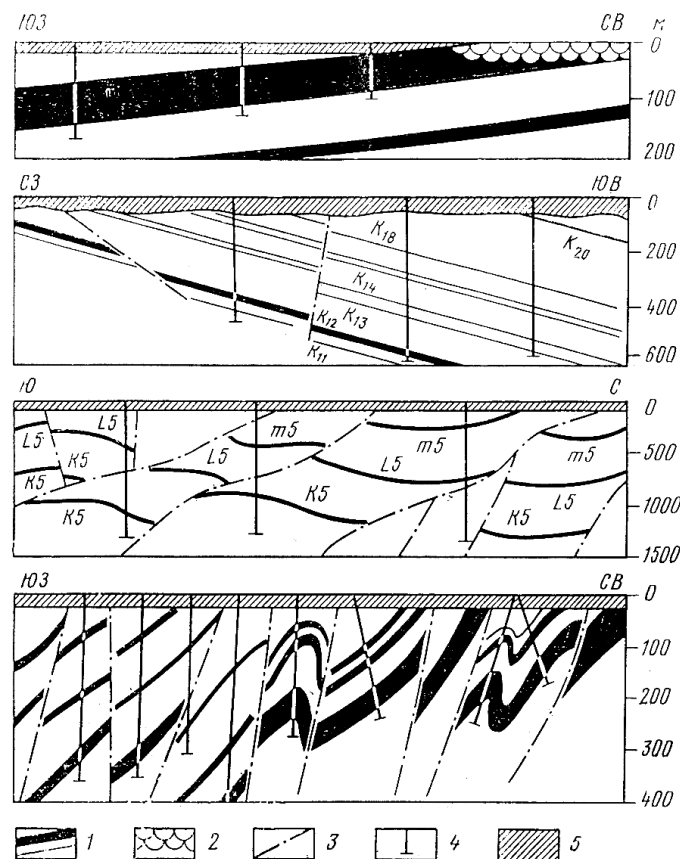


Рис. 12. Месторождения различных групп тектонической сложности. Бассейны: а – Канско-Ачинский; б – Карагандинский; в – Донецкий; г – Кузнецкий; 1 – угольный пласт; 2 – «горельник»; 3 – разрывное нарушение; 4 – скважина; 5 – покровные отложения
Fig. 12. Deposits of various groups of tectonic complexity. Basins: a – Kansk-Achinsk; b – Karaganda; c – Donetsk; d – Kuznetsky; 1 – coal seam; 2 – «burnt coal»; 3 – fault (disjunctive dislocation); 4 – well; 5 – overlying sediments

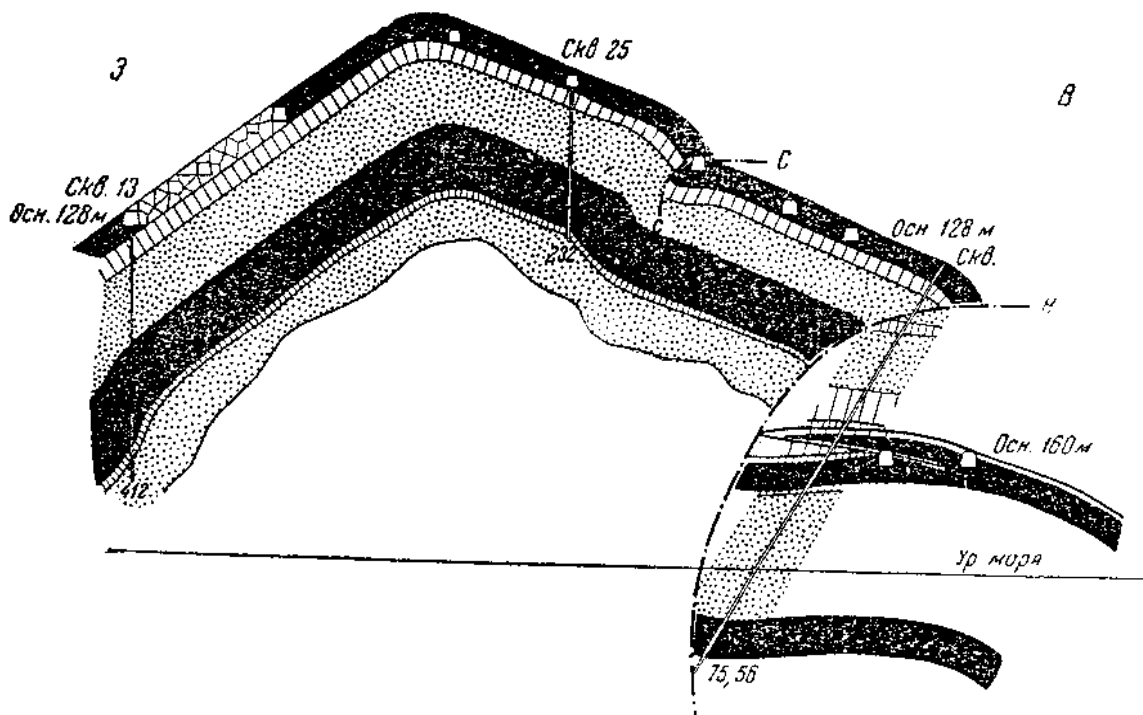


Рис. 13. Разрез Кемеровского и Волковского пластов (шахта Центральная, Кузбасс)
Fig. 13. Cross-section of the Kemerovskiy and Volkovskiy seams (Central Mine, Kuzbass)

Угленосные бассейны, располагающиеся на внутренних элементах древних платформ, в верхнем структурном ярусе молодых платформ и срединных массивов, как правило, вообще лишены тектонических разрывов, за исключением единичных средних и мелких сбросов.

В бассейнах, располагающихся в краевых элементах платформ, тектонические разрывы распространены более широко, встречаются практически во всех бассейнах и представлены преимущественно сбросами.

Совершенно другой характер имеет дизъюнктивная тектоника бассейнов геосинклинального типа, для которых характерна высокая степень нарушенности разрывами. Особенно сильно эти нарушения проявлены в бассейнах, располагающихся в центральных зонах складчатых систем.

В угленосных отложениях часто наблюдаются последовательность и четкая связь складок и разрывов, выраженная в совпадении простираций и ориентировки наклона сместителей и осевых поверхностей складок. В большинстве случаев разрывы образуются на заключительном этапе соответствующей фазы тектогенеза, когда складки уже сформированы. Об этом свидетельствует продолжение без существенных изменений геометрической формы складки по обе стороны сместителя. Генетическая связь складок угленосных отложений с тектоническими разрывами находит свое выражение также в их пространственных соотношениях и приуроченности определенных морфологических типов разрывов к соответствующим типам складок. К примеру, характерна тесная генетическая связь взбросов и надвигов с интенсивной линейной складчатостью угленосных отложений. Зоны линейных складок, как правило, приурочены к зонам максимальных мощностей угленосных толщ. Нарушение сбросами характерно для моноклинальных, куполовидных и брахиформных структур.

Тектонические разрывы локализуются преимущественно в местах перегибов слоев угленосных отложений при складчатости. Существуют глубокие связи угленосности отложений, газоносности, водообильности пород и углей, их метаморфизма с тектоническими структурами. Такие явления, как горные удары, выбросы угля, пород и газа в горные выработки связаны в определенной степени с тектоническими структурами и тектоническими движениями. Поэтому выяснению особенностей и закономерностей тектонического строения и геометризаций форм



залегания угольных пластов должно уделяться большое внимание в процессе разведки и геолого-промышленной оценки угольных месторождений.

Благонадежность намеченного к освоению месторождения в весьма высокой степени зависит от сложности геологического строения. Во-первых, чем сложнее тектонические структуры месторождения и горно-геологические условия разработки пластов, чем меньше выдержаны мощность и строение пластов, более широки и близки к кондиционным (минимально-промышленным) пределам колебания зольности, тем меньше достоверность разведочных данных о месторождении и больше вероятность встречи неожиданных затруднений в работе шахты или разреза. Во-вторых, часто изменяющиеся условия работы, невыдержанность пластов и качества угля, даже если они известны заранее, резко отрицательно влияют на устойчивость технологических процессов добычи угля.

Размывы угольных пластов.

Это еще одна форма их нарушений (рис. 14, 16). Одни из них обязаны своим происхождением рекам и ручьям, блуждающим по торфяному болоту, другие являются результатом деятельности рек, врезающих свои долины в уже сформировавшиеся угленосные толщи, третьи связаны с наступлением (трансгрессией) моря, уничтожившим угольные пласты на больших площадях.

Изверженные породы угольных месторождений.

Они характерны для геосинклинально-складчатых областей (рис. 15, 17). В платформенных областях изверженные породы получают развитие в бассейнах, образовавшихся в эрозионных межгорных депрессиях, а также в депрессиях тектонического и эрозионно-тектонического происхождения. Развитию изверженных пород способствовали разломы, служившие каналами для выхода магмы.

Имеют место как доугленосные, так и сингенетичные и послеугленосные магматические породы. Доугленосные различного состава обычно отделяются от угленосной формации корой древнего выветривания, продукты разрушения которой участвуют в базальном горизонте формации и встречаются в вышележащих ее слоях.

Сингенетичные магматические породы, относящиеся к концу палеозоя, известны среди угленосной формации Тунгусского бассейна [40]. Для угленосных формаций других бассейнов и месторождений бывшего СССР они не характерны и встречаются редко. Когда же они встречаются, то пассивно участвуют в более поздних тектонических структурах угленосных отложений, как и слои осадочных пород.

Послеугленосные магматические породы могут быть внедрившимися или излившимися. Излившиеся (чаще всего базальты) образуют покровы, несогласно перекрывающие тектонические структуры угленосных отложений. Типичный пример – широко развитые мезозойские траппы Сибирской платформы в Тунгусском бассейне. Покровы консервируют погребенные ими тектонические структуры, предохраняя последние от дальнейшего разрушения эрозионными процессами.

Внедряющиеся магматические породы оказывают наиболее активное воздействие на формы залегания угольных пластов и пород угленосной формации. Наблюдаются при этом два основных типа залегания тел внедрившихся пород: пластовые залежи (силлы) и крутопадающие секущие тела (дайки). Пластовые залежи образуются путем внедрения магматических пород по ослабленным контактам между слоями осадочных пород угленосной формации, причем часто внедрение развивается по контакту пластов угля с вмещающими породами. Внедрившиеся изверженные породы могут подвергаться складчатости и образовывать единые структурные формы вместе с осадочными отложениями угленосной формации.

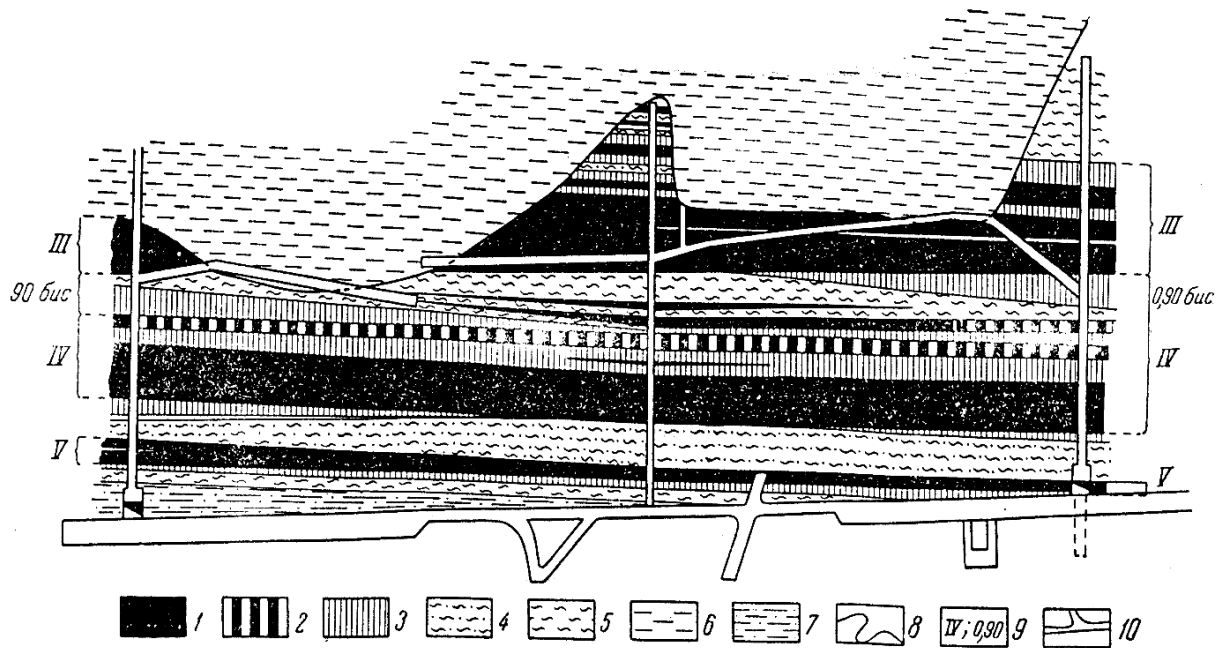


Рис. 14. Эпигенетический разрез угольных пластов: 1 – уголь, 2 – уголь высокозольный, 3 – углистый сланец, 4 – углисто-глинистый сланец, 6 – глины и песчаники пестроцветной свиты, 7 – глинисто-песчаный сланец, 8 – линия размыва, 9 – обозначения угольных пластов, 10 – горные выработки

Fig. 14. Epigenetic section of coal seams: 1 – coal, 2 – high-ash coal, 3 – coal-bearing shale, 4 – coal-clay shale, 6 – clays and sandstones of the Pestrotsvetnaya Formation, 7 – clay-sandstone shale, 8 – erosion line, 9 – coal seam designations, 10 – mine workings

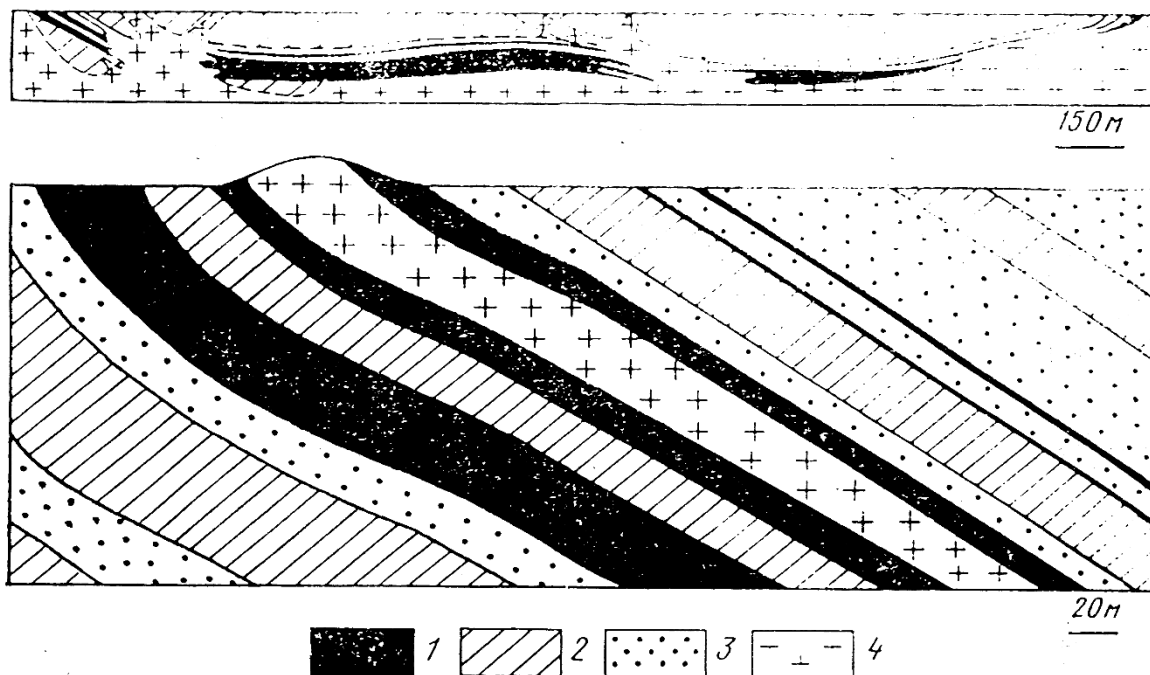


Рис. 15. Внедрение интрузии гранитов в угольный пласт: 1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 – песчаник, 4 – гранит

Fig. 15. Granite intrusion into a coal seam: 1 – coal; 2 – argillite; 3 – sandstone; 4 – granite

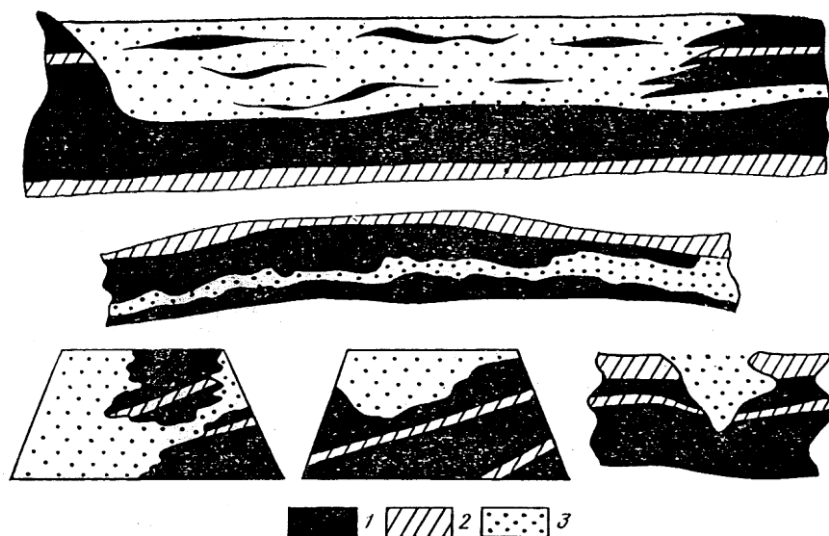


Рис. 16. Размывы угольных пластов: 1 – уголь, 2 – аргиллит, 3 – песчаник
Fig. 16. Erosion of coal seams: 1 – coal; 2 – argillite; 3 – sandstone

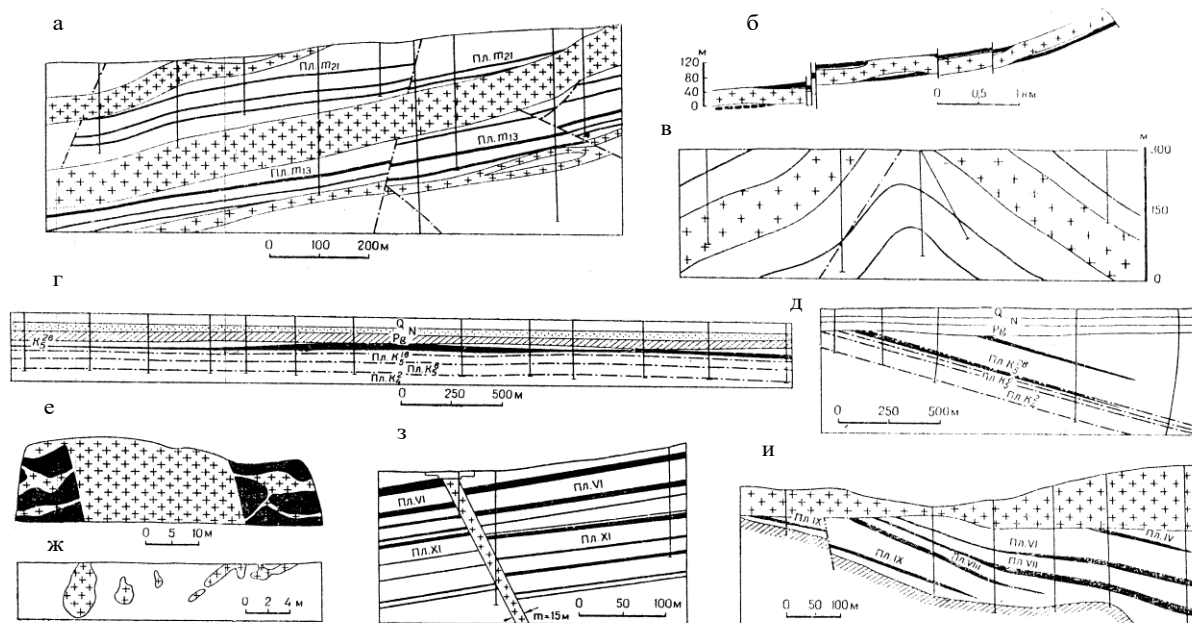


Рис. 17. Основные формы залегания магматических пород: а – лакколиты и пластовые жилы дацитов и андезитов в Партизанском бассейне (по Г.В. Кузнецову); б – силл диабазов в Норильском районе, проходящий по пласту угля и сместивший его части (по В.Ф. Твердохлебову, 1969); в – складчатый силл диабазов в Томь-Усинском районе; г, д – пластовые залежи диабазов (черные) на Бессергеновском участке в Донбассе (по А.И. Тарасовой, 1968); е, ж, з – дайки и внедрения долеритов в пласты угля разреза Томусинского в Кузбассе; и – покров базальтов на Шкотовском месторождении (по В.А. Кирилюку, 1970).

Fig. 17. Major types of magmatic rock occurrence: а – laccoliths and stratiform veins of dacites and andesites in the Partizansky Basin (according to G.V. Kuznetsov); б – a diabase sill in the Norilsk region, cutting through a coal seam and displacing parts of it (according to V.F. Tverdokhlebov, 1969); в – a folded sill of diabase in the Tom-Usinskiy district; г, д – stratiform deposits of diabase (black) at the Bessergenevskiy site in the Donbass (according to A.I. Tarasova, 1968); е, ж, з – dikes and dolerite intrusions in the coal seams of the Tomusinsky open-pit mine in Kuzbass; и – a basalt cap at the Shkotovsky deposit (according to V.A. Kirilyuk, 1970).



При распространении изверженных пород по пластам угля происходит контактово-термальный метаморфизм, а также частичная или полная ассимиляция угольного вещества.

Дайки часто образуются по сбросам, расчленяют площади угольных пластов на отдельные блоки. Вблизи даек развит контактово-термальный метаморфизм и ассимиляция угля.

Среди магматических преобладают породы основного состава (долериты, базальты). В целом они ухудшают горно-геологические условия разработки угольных пластов.

Классификация угольных месторождений по сложности геологического строения (залегания угольных пластов).

По этому признаку месторождения разделены на следующие три группы:

1. Месторождения простого или относительно простого строения. В них залегания пластов угля ненарушенное (горизонтальное, пологоволнистое). Складчатость более мелких порядков развита слабо. При проявлении разрывных нарушений они определяют лишь крупноблоковую структуру месторождения (участка, разреза, шахтного поля). В пределах таких блоков размерами в несколько квадратных километров элементы залегания пород (азимут падения, простирания, угол падения) выдержаны, разрывные нарушения более мелких порядков имеют ограниченное распространение.

2. Месторождения угля сложного строения. Залегание пластов угля сложно-складчатое с локальными резкими изменениями гипсометрии пластов. Развита также разрывные нарушения.

3. Месторождения угля очень сложного строения. Залегание пород осложнено интенсивным проявлением разрывных нарушений. Они создают мелкоблоковую, иногда чешуйчатую структуру площадей распространения угольных пластов.

Отнесение месторождения в одну из трех указанных групп (по классификации КГЗ) в некоторой степени является оценкой его благонадежности: чем больше номер группы, тем в принципе ниже благонадежность для промышленного освоения. Главная причина, из-за которой месторождения относятся ко второй группе, - сложная тектоника. В ряде основных бассейнов (Кузнецком, Карагандинском, Печорском и др.) это причина единственная. Что касается месторождений третьей группы, то все они отнесены в нее из-за весьма сложной тектоники. Тектонический фактор является определяющим при геолого-промышленной оценке месторождений и решении вопросов о вводе их в эксплуатацию.

Детальная разведка месторождения, густота разведочной сети скважин зависят от группы сложности месторождения.

Метаморфизм углей

Это есть процесс коренного качественного изменения бурого угля с превращением его в каменный уголь, а последнего – в антрацит. Это необратимый процесс последовательного повышения содержания углерода в результате изменения химического состава, физических свойств и внутреннего строения ископаемых углей, главным образом под действием среды – температуры и давления, развивающихся в результате геологических процессов в недрах Земли. Метаморфизм зависит также от исходного вещества углей.

Все физические и химические свойства органической массы углей эволюционируют при увеличении метаморфизма.

Преобразования молекулярной структуры углей при метаморфизме проявляются в изменении их оптических характеристик: показателях преломления и отражения, их анизотропии и поглощении света (прозрачности).

Процессы метаморфизма угля сопровождаются отщеплением жидких и газообразных продуктов, среди которых важнейшее значение имеет метан. Метаморфогенное газообразование при наличии соответствующих ловушек и покрышек приводит к образованию месторождений природного метаморфогенного газа [44].

В результате метаморфизма изменяются физико-химические свойства и петрографический состав углей. Эти изменения выражаются в уменьшении в них влажности и летучих компонентов органической массы. Содержание кислорода при этом закономерно уменьшается, а углерода



возрастает, возрастает теплотворная способность угля (теплота сгорания). Такой процесс изменения угля называется углефикацией или обуглероживанием – обогащением угля углеродом [15].

Отдельные микрокомпоненты углей в силу особенностей состава и химической структуры в условиях метаморфизма испытывают специфические превращения, что проявляется в разнохарактерном изменении их свойств. Так, влажность фюзенов и липоидных компонентов убывает незначительно по всему ряду (углефикационному), а влажность гелитолитов вначале резко падает, в углях средних стадий метаморфизма изменяется малозаметно, снова довольно резко увеличивается в антрацитах. Гелитолиты – один из классов ископаемых углей, включает блестящие и полублестящие угли (клареновые, дюрено-клареновые), состоящие преимущественно из гелифицированных микрокомпонентов (группа витринита) [14].

Для всех петрографических компонентов характерно уменьшение выхода летучих веществ в процессе метаморфизма, но интервалы и интенсивность этого изменения различны: для гелифицированных компонентов наблюдается относительно плавное падение от 45% (на стадии Д) до 2% (у антрацитов), для фюзенов этот интервал сокращается от 17 до 1–2%; липоидные компоненты теряют летучие вещества очень быстро (от 70–80% на стадии Д до величин, характерных для гелифицированных компонентов на средних стадиях) [8].

Спекающей способностью, как уже указывалось, обладают гелифицированные и липоидные компоненты, причём это свойство проявляется на стадии газовых углей и изменяется в ряду метаморфизма с максимумом в области жирных – коксовых углей, исчезая в тощих углях. Фюзены совсем не спекаются.

Таким образом, при метаморфизме уголь изменяется как технологическое сырьё. Степень метаморфизма или, иначе говоря, степень геологической зрелости углей является одним из основных факторов, которые определяют качество угля. Но кроме метаморфизма очень большое влияние на свойства углей оказывает исходный материал, из которого угли образовались, а также условия разложения растительного материала торфяника. Например, водоросли характеризуются повышенным по сравнению с древесной и травянистой (наземной) растительностью содержанием жиров. Разложение водорослей при их перемешивании с илом приводит к образованию вещества, называемого сапропель (гнилостный ил). Из сапропелей образуются впоследствии нефти или близкие к ним продукты, а также горючие сланцы, имеющиеся, например, в Кузбассе в Барзассе, или угли, из которых может быть получено жидкое топливо – сапропелевые угли [45].

Различают два вида метаморфизма, наиболее эффективно действовавших на преобразование угольных пластов:

- 1) региональный (динамотермальный), или глубинный, связанный с погружением осадков на значительную глубину в область повышенных температур и давлений;
- 2) контактовый (термальный), связанный с тепловым влиянием интрузивных или эффузивных магматических масс.

Наибольшее значение в процессе изменения ископаемых углей принадлежит **региональному метаморфизму**. Он связан с опусканием угольных пластов на больших площадях в зоны более высоких температур и давлений преимущественно во время образования геосинклинали. Это происходило в доскладчатый период развития геосинклинальных бассейнов при горизонтальном (ненарушенном) залегании угленосных отложений. Региональный метаморфизм углей продолжался также при складкообразовательных процессах, то есть при превращении геосинклиналей в геосинклинально-складчатые области.

Степень метаморфизма углей по простиранию изменяется медленнее, чем по падению угольных пластов и вмещающих их пород.

С увеличением глубины залегания угольных пластов увеличивается их региональный метаморфизм и углефикация.

Контактный (термальный) метаморфизм. Наиболее часто проявляется влияние температуры на изменение углей на контактах с изверженными породами. Под воздействием магмы каменный уголь, как и вся осадочная толща, подвергается контактовому метаморфизму. В непосредственном контакте угля с интрузивным телом на расстоянии не более 5–10 м уголь



ококсовывается. С удалением от контакта уголь постепенно теряет летучие вещества и переходит в антрацит и тощие угли. Уголь тощий – каменный уголь определённой степени углефикации (шестой стадии метаморфизма). Это чёрный, слегка сероватый уголь, блеск яркий алмазный, теплота сгорания 8400–8600 ккал/кг, не спекается [14].

Различные температуры и давления, воздействию которых подвергались исходные вещества ископаемых углей в недрах под толщей осадочных пород, привели к образованию метаморфического (углефикационного) ряда углей. Этот ряд начинается бурыми углями, охватывает все каменные угли и заканчивается антрацитами [46].

Группы и стадии метаморфизма углей

По степени изменения вещественного состава углей, то есть по степени их метаморфизма (степени углефикации) выделяются три группы метаморфизма: буроугольная, каменноугольная и антрацитовая.

Углефикация, как уже указывалось, это совокупность процессов преобразования торфа в уголь и дальнейшего изменения угля под действием геологических факторов – повышения температуры и давления при известном участии фактора времени (продолжительность теплового воздействия).

Указанные группы метаморфизма подразделяют на стадии метаморфизма (углефикации).

Стадии метаморфизма угля – показатели, характеризующие его состояние в процессе превращения от начальной стадии – разложения растительного материала до конечной (образования графита). Химические изменения в угле в процессе постепенной углефикации (преобразования торфа в уголь и дальнейшего его изменения) обусловлены главным образом продолжительным воздействием температуры земной коры, тогда как на физические свойства угля влияет преимущественно давление вышележащих пластов пород. Термины «углефикация» – «метаморфизм углей» являются синонимами для каменных углей и антрацитов; к бурым углям применим лишь термин «углефикация» [47]. Поскольку технологические свойства угля (спекаемость, коксуемость, восстановленность) и особенно его коксуемость, зависят, прежде всего, от степени метаморфизма и только во вторую очередь – от состава мацералов (равнозначных минералам в горных породах) или микролитотипов (групп мацералов) угля, точное определение степени метаморфизма всегда является одной из важнейших задач углепетрографии [48].

В каменных углях понятия стадия метаморфизма, степень метаморфизма, степень углефикации являются синонимами. С увеличением степени (стадии) метаморфизма усиливается блеск углей.

Согласно ГОСТ 21489-86 стадии метаморфизма (стадии углефикации) обозначаются римскими цифрами I, II, III и т.д. В то же время эти стадии, соответствующие определённым углям, обозначаются буквами: Б – бурые (0 стадия по ГОСТ), Д (I) длиннопламенные, Г (II) – газовые, Ж (III) – жирные, К (IV) – коксовые, ОС (V) – отошённо-спекающиеся, Т (VI) – тощие, А (VII–X) – антрациты. Под жирными углями (в технологическом смысле) обычно имеются в виду хорошо спекающиеся угли III стадии метаморфизма. Но это справедливо только для углей, богатых витринитом и липтинитом. Фюзинитовые угли даже на этой наиболее благоприятной стадии не спекаются и не могут относиться к жирным углям. С другой стороны, практически во всех бассейнах с коксующимися углями резко преобладают витринитовые угли и использование буквенных обозначений стадий метаморфизма, давно вошедших в практику разведочных и эксплуатационных работ, в определённой степени оправдано. Поэтому нами будут использованы и те, и другие обозначения стадий метаморфизма угля [34].

Указанные буквенные обозначения стадий метаморфизма, соответствующие их цифровым обозначениям, отвечают маркам угля. Марки угля отражают химико-технологические особенности углей определённых стадий углеобразования.

Необходимость применения марочных названий для обозначения стадий и подстадий метаморфизма углей можно аргументировать следующими положениями.

1. Марочные названия наилучшим образом отражают стадии метаморфических изменений вещества углей.



2. Марочные названия позволяют теснее увязывать метаморфические изменения углей на разных стадиях с их петрографо-химико-технологическими свойствами и, следовательно, с их промышленной классификацией.
3. Марочные названия стадий метаморфизма углей являются общепризнанными, получили широкое распространение в разных областях науки и техники и, помимо промышленных, используются в генетических классификациях углей.

Таким образом, в общем непрерывном углефикационном ряду выделяются следующие стадии метаморфизма: бурогольная – Б, длиннопламенная – Д, газовая – Г, жирная – Ж, коксовая – К, отощённо-спекающаяся – ОС, тощая – Т, антрацитовая – А. Выделяются некоторые переходные стадии (БД, ДГ и другие).

Одним из главных параметров степени (стадии) метаморфизма угольных веществ является показатель отражения витринита [36]. Он является внешним выражением глубоких молекулярных превращений органического вещества растений под влиянием температуры и давления в недрах Земли.

Исходя из предельной глубины погружения пластов и анализа палеогеотермического режима, а также учитывая характер вторичных изменений углей и вмещающих пород, можно сделать вывод, что температура метаморфических превращений для углей, к примеру, в верхнепалеозойских прогибах не превышает для Б–Д 40–80 °С, Г–Ж 100–120°, ОС–Т 150–180°, Т–ПА (полуантрацитовая) 170–200°. Наиболее метаморфизованные антрациты Донбасса не испытали воздействия температур выше 300–350°. Температура графитизации органического вещества в позднеархейских толщах Приазовья не превышала 550 – 800° [44].

Соответственно стадии метаморфизма более молодых углей отвечают температурам несколько более высоким: примерно на 20–50° для углей в мезозойских прогибах и на 50–70° – для углей в кайнозойских прогибах. Об этом свидетельствуют данные по Предкавказскому прогибу, а также по Западно-Сибирской низменности.

Температура – главный фактор превращения органического вещества в ходе катагенеза и метаморфизма.

Давление оказывает заметное влияние только на ранних стадиях метаморфизма (марки Б и Д). В дальнейших процессах метаморфизма повышение давления способствует ходу реакций, но его влияние несущественно (вероятно, ввиду негерметичности системы) [44].

Рост степени метаморфизма со стратиграфической глубиной отражён в шкалах метаморфизма (рис. 18). Мощности зон углей определённой степени метаморфизма в разных бассейнах близки и составляют в среднем для бурых углей до 2 км, длиннопламенных 1–1,2 км, газовых – до 1 км, жирных и коксовых – по 0,5 км, отощённо-спекающихся – 0,4 км, тощих – 0,7 км, антрацитов – несколько километров. Зная степень метаморфизма угля у дневной поверхности, пользуясь шкалой метаморфизма, можно прогнозировать степень преобразованности углей и соответственно их свойства на глубоких горизонтах месторождений. Этот метод используется при прогнозных работах.

Следует подчеркнуть, что в районах с повышенным геотермическим режимом шкалы метаморфизма сжаты и зоны, соответствующие основным стадиям, сужены.

Вторая закономерность регионального метаморфизма – рост степени преобразованности углей с увеличением мощности отложений – также проявляется во всех бассейнах.

Например, в Донецком бассейне с ростом мощности карбоновых отложений в юго-восточном направлении от 2 до 12 км прослеживается весь ряд метаморфизма углей от бурых через каменные до антрацитов.

В Кузнецком бассейне мощность пермских отложений увеличивается с востока на запад от 2 до 7 км и, соответственно, длиннопламенные угли сменяются газовыми, жирными, коксовыми, местами до тощих.

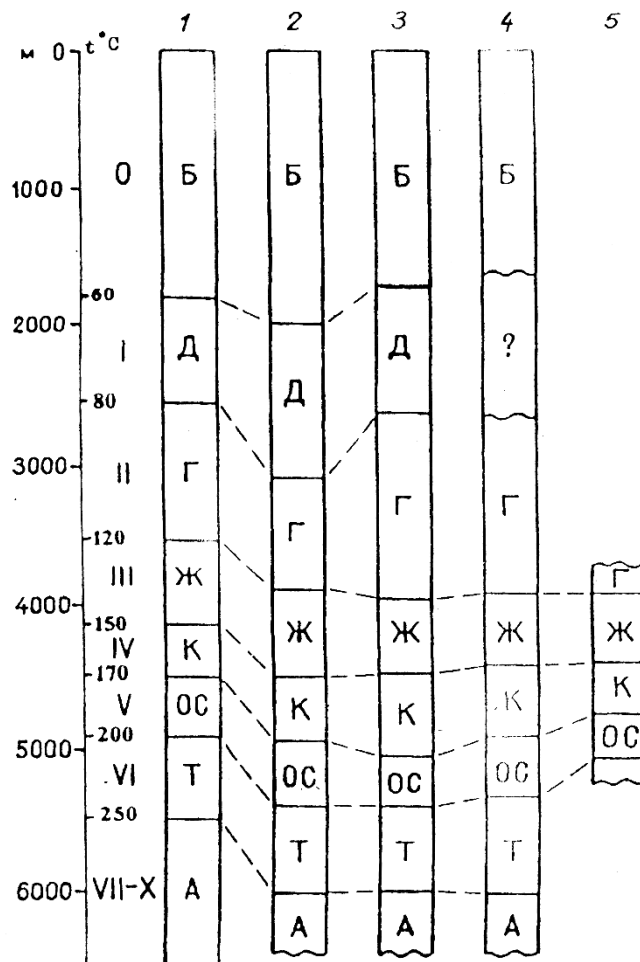


Рис. 18. Вертикальная зональность метаморфизма углей в основных угольных бассейнах. Римскими цифрами обозначены стадии метаморфизма углей по ГОСТ 2148-86, буквами – марки углей по ГОСТ 25543-88. Бассейны: 1 – Донецкий, 2 – Кузнецкий, 3 – Печорский, 4 – Карагандинский, 5 – Южно-Якутский.

Fig. 18. Vertical zonation of coal metamorphism in the major coal basins. Roman numerals denote the stages of coal metamorphism according to GOST 2148-86, and letters denote coal grades according to GOST 25543-88. Basins: 1 – Donetsky, 2 – Kuznetsky, 3 – Pechorsky, 4 – Karagandinsky, 5 – South Yakutia.

Расчётные глубины погружения угленосных отложений, при которых уголь достигал той или иной стадии метаморфизма, очень близки в Кузнецком и Донецком бассейнах и составляют: Б₃–Д – 1–1,7 км; Д–Г – 2,5–3 км; Г–Ж – 3,5–4,5 км; Ж–К – 4,5 км; К–ОС (отощённо-спекающиеся) – 4,5–5,5 км; ОС–Т – 5–6 км; ПА (полуантрацитовые) – 7–8 км [44].

Третья закономерность регионального метаморфизма – его усиление по падению пластов в современном разрезе. Это свидетельствует о том, что процесс метаморфизма продолжался и после проявления основной фазы складчатости, и изменение углей в центральных частях синклинальных структур было более интенсивным, чем на крыльях. Однако имеют место случаи (правда, довольно редкие), когда в молодых структурах, где процессы метаморфизма завершились в основном до складчатости, степень метаморфизма по падению пластов уменьшается (Кузнецкий бассейн).

Влияние термального метаморфизма за счёт воздействия на уголь крупных интрузивных тел, повышающих напряжённость геотермического режима бассейна, отрицательно сказывается на спекаемости и коксуетости углей. Даже угли III (жирной) и IV (коксовой) стадий метаморфизма под термальным воздействием почти полностью теряют спекающую способность.



Характерным примером являются угли Норильского района Тунгусского бассейна, где толщина пластического слоя этих углей колеблется около 10 мм, вместо обычных для этих углей 20-30 мм.

При контактовом метаморфизме, который является частным случаем проявления термального метаморфизма, вблизи интрузивных тел на коротком расстоянии сменяются марки угля вплоть до антрацитов и графитов. На контактах может образовываться кокс. Наиболее сильное воздействие оказывают пологозалегающие интрузивные тела, меньшее – секущие дайки. Тепловое воздействие интрузивов мощностью 700-100 м сказывается на расстоянии 50-70 м от контакта (Тунгусский бассейн). На юге Кузнецкого бассейна мощный (до 50 м) силл диабазов оказал воздействие на угли балахонской серии в Томусинском и Мрасском районах. Вблизи силла на коротком расстоянии коксовые угли переходят в тощие и, местами, в антрациты [34].

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Скурский Михаил Данилович, доктор геолого-минералогических наук, профессор
e-mail: skurskynd@kuzstu.ru

Забайкальский государственный университет
672039, Российская Федерация, Читинская область, г. Чита, улица Александров-Заводская, 30

Список литературы

1. Кузнецов Ю.А. Главнейшие типы магматических формаций // Науч. труды. – Т. II. – Новосибирск: Наука, 1989. – 394 с.
2. Попов В.И. Генетическое учение о геологических формациях / В.И. Попов, В.Ю. Запрометов. – М.: Недра, 1985. – 457 с.
3. Рудоносность и геологические формации структур земной коры. – Л.: Недра, 1981. – 423 с.
4. Фролов В.Т. О месте и роли российских геологов в мировой науке // Отечественная геология. – 1999. – № 3. – С. 5-10.
5. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. – М.: Высшая школа, 1967. – 416 с.
6. Крашенинников Г.Ф. Условия накопления угленосных формаций СССР. – М.: МГУ, 1957. – 291 с.
7. Попов В.С. Геотектонический режим образования угленосных формаций // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 24-30.
8. Методы формационного анализа угленосных толщ. – М.: Недра, 1975. – 200 с.
9. Черноусов Я.М. Курс общей геологии угольных месторождений. – М.: Госнаучтехиздат, 1962. – 325 с.
10. Иванов Н.В. Тектоно-генетическая типизация угленосных формаций // Угленосные формации и петрология углей: Сб. науч. ст. – Л.: ВСЕГЕИ, 1985. – С. 20-29.
11. Романовский С.И. Седиментологические основы литологии. – М.: Недра, 1977. – 407 с.
12. Волкова И.Б. Органическая петрология. – М.: Недра, 1990. – 299 с.
13. Тимофеев П.П. Современное состояние учения об угленосных формациях и сущность формационного анализа / П.П. Тимофеев, Г.А. Иванов // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 8-13.
14. Геологический словарь. – М.: Недра, 1978. – 940 с.
15. Основы геологии горючих ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 260 с.
16. Волков В.Н. Генетические основы морфологии угольных пластов. – М.: Недра, 1973. – 136 с.
17. Кравцов А.И. Основы геологии горючих ископаемых. – М.: Высшая школа, 1982. – 424 с.
18. Богомазов В.М. Классификация угленосных формаций, бассейнов и месторождений России // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. Вып. 11. С. 23-28.
19. Матвеев А.К. Классификация угольных бассейнов // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 53-60.



20. Иванов Г.А. Угленосные формации. – Л.: Наука, 1967. – 407 с.
21. Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. – М.: Геоинформмарк, 1998. – 412 с.
22. Такранов Р.А. Геологические работы на угольных карьерах. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
23. Старостин В.И. Геология полезных ископаемых / В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 304 с.
24. Скурский М.Д. Недра Забайкалья. – Чита: Областная типография, 1996. – 698 с.
25. Пельдяков И.С. Геология месторождений ископаемых углей. – М.: Углетехиздат, 1954. – 310 с.
26. Иванов Г.А. Основные факторы образования угленосных формаций и их взаимосвязь // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 14-23.
27. Логвиненко Н.В. Состояние учения о формировании вещественного состава пород угленосных формаций / Н.В. Логвиненко, В.В. Воронцов, П.В. Зарицкий и др. // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 86-95.
28. Ботвинкина Л.Н. Типизация ландшафтов угленосных формаций / Л.Н. Ботвинкина, А.В. Македонов, А.А. Любер // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 31-41.
29. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. VI. Закономерности состава и размещения гумидных отложений. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
30. Щербак Г.Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий угольных месторождений Восточной Сибири и их влияние на устойчивость бортов карьеров: Дис. ... докт. геол.-минерал. наук / Томский госуд. архитек.-строит. ун-т. – Томск, 2002. – 445 с.
31. Месторождения полезных ископаемых. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 570 с.
32. Угольные бассейны и условия их формирования. – М.: Наука, 1983. – 246 с.
33. Голицын М.В. Коксующиеся угли России / М.В. Голицын, А.М. Голицын. – М.: МГУ, 1992. – 179 с.
34. Ажгиревич Л.Ф. Закономерности размещения и образования горючих ископаемых. – Минск: Наука и техника, 1986. – 175 с.
35. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1991. – 362 с.
36. Голицын М.В. Все об угле / М.В. Голицын, А.М. Голицын. – М.: Наука, 1989. – 192 с.
37. Жемчужников Ю.А. Общая геология ископаемых углей. – М.: Углетехиздат, 1948. – 490 с.
38. Колесников В. Ф. Развитие и обоснование способов и схем вскрытия рабочих горизонтов угольных карьеров : специальность 05.15.03 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колесников Валерий Федорович. – Кемерово, 1999. – 325 с.
39. Coal-Bearing Zone Transformation into a Coalless One at the Open Pit / O. Litvin, E. Tyuleneva, V. Kolesnikov, A. Dobrov // E3S Web of Conferences. Vol. 41. – 2018. – DOI 10.1051/e3sconf/20184101020.
40. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР // Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР. – М.: Недра, 1978. – Т. 12. – 530 с.
41. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Учебник для вузов. Ч.2. Технология и комплексная механизация // М.: Недра. – 1985. – 549 с.
42. Васючков Ю.Ф. Горное дело // М.: Недра, 1990. – 512 с.
43. Указания по нормированию, планированию и экономической оценке потерь угля в недрах по Кузнецкому бассейну: Открытые работы // Л.: ВНИМИ, 1991. – 23 с.
44. Левенштейн Л.М. Особенности преобразования органического вещества на поздних стадиях литогенеза (катагенез и метагенез) / Л.М. Левенштейн, М.В. Голицын, Э.М. Пах и др. // В кн.: Угленосные формации и их генезис. – М.: Наука, 1973. – С. 105-112.
45. Сендерзон Э.М. Как образовались угли Кузбасса. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1954. – 75 с.
46. Ерёмин И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Ерёмин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев. – М.: Недра, 1980. – 263 с.
47. Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород / Под ред. Г.А. Иванова. – М.: Недра, 1975. – 256 с.
48. Штах Э. Петрология углей / Э. Штах, М.Т. Маковски, Г. Тейлор; Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 350 с.



UDC 553.94/96+553.98

REGIONAL GEOLOGY OF COAL. COAL-BEARING GEOLOGICAL FORMATIONS

Mikhail D. Skursky

Transbaikal State University



Article info

Received:
17 September 2021

Revised:
30 March 2022

Accepted:
15 June 2026

Keywords: formation, coal basin, coal deposit, coal-bearing strata, facies, coal accumulation, coal formation, plicative dislocations, disjunctive dislocations, geological structure, tectonic complexity, structure of coal seams, coal metamorphism

Abstract.

This paper summarizes information on coal-bearing geological formations, characterizes the geological structure of coal-bearing formations (strata) in basins and deposits, and describes the conditions of their formation and patterns of distribution; It describes the classification of sedimentary coal-bearing formations in relation to the tectonic conditions of their creation and characterizes the paleogeographic and facies conditions of the creation of sedimentary coal-bearing formations. Determining the formation affiliation of a coal-bearing strata makes it possible to predict many general characteristics of coal seams and coal properties. At the same time, the quality of coals from basins and deposits that are similar in formation type may exhibit significant differences, which are associated with variations in the age of the stratigraphic subdivisions of the coal-bearing sequence, the specific sequence of facies changes, and the conditions of coal accumulation, etc. Within the same formation, the characteristics of coal seams and coal vary significantly both in the cross-section and across the area. A number of definitions and concepts are provided to facilitate further study of this issue. The main regional patterns of coal distribution on Earth and the historical stages of coal formation are studied in detail, and a brief list of the major coal-bearing basins, areas, and provinces is provided. In addition, the work describes the properties of coal seams and their structure, as well as their morphology and depositional conditions.

For citation Skursky M.D. Regional geology of coal. Coal-bearing geological formations. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2026;2(33):59-108. DOI: 10.26730/2618-7434-2026-2-59-108, EDN: AONZCW

References

1. Kuznetsov, Yu. A. The Main Types of Magmatic Formations // *Procedia*. – Vol. II. – Novosibirsk: Nauka Publishing House, 1989. – 394 pp. [In Russ.].
2. Popov, V.I. The Genetic Theory of Geological Formations / V.I. Popov, V.Yu. Zaprometov. – Moscow: Nedra Publishing House, 1985. – 457 pp. [In Russ.].
3. Ore-bearing Potential and Geological Formations of Earth's Crust Structures. – Leningrad: Nedra Publishing House, 1981. – 423 pp. [In Russ.].
4. Frolov, V.T. On the Place and Role of Russian Geologists in World Science. *Domestic Geology*. 1999;3:5-10. [In Russ.].
5. Logvinenko, N.V. Petrography of Sedimentary Rocks. – Moscow: Highest School Publishing House, 1967. – 416 pp. [In Russ.].
6. Krashennikov, G.F. Conditions for the Accumulation of Coal-Bearing Formations in the USSR. – Moscow: Moscow State University, 1957. – 291 pp. [In Russ.].
7. Popov, V.S. The Geotectonic Regime of Coal-Bearing Formation Formation. In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 24-30. [In Russ.].
8. Methods of Formation Analysis of Coal-Bearing Strata. – Moscow: Nedra Publishing House, 1975. – 200 pp. [In Russ.].
9. Chernousov, Ya.M. Course in General Geology of Coal Deposits. – Moscow: Gosnauchtekhizdat Publishing House, 1962. – 325 pp. [In Russ.].



10. Ivanov, N.V. Tectonic-genetic classification of coal-bearing formations. In: *Coal-bearing Formations and Coal Petrology: Collection of Scientific Articles*. – Leningrad: VSEGEI (Russian Geological Research Institute), 1985. – pp. 20–29. [In Russ.].
11. Romanovsky, S.I. Sedimentological Foundations of Lithology. – Moscow: Nedra Publishing House, 1977. – 407 pp. [In Russ.].
12. Volkova, I.B. Organic Petrology. – Moscow: Nedra Publishing House, 1990. – 299 pp. [In Russ.].
13. Timofeev, P.P. The Current State of the Theory of Coal-Bearing Formations and the Essence of Formation Analysis / P.P. Timofeev, G.A. Ivanov // In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 8–13. [In Russ.].
14. Geological Dictionary. – Moscow: Nedra Publishing House, 1978. – 940 pp. [In Russ.].
15. Fundamentals of Fossil Fuel Geology. – Moscow: Nedra Publishing House, 1987. – 260 pp. [In Russ.].
16. Volkov, V.N. Genetic Foundations of Coal Seam Morphology. – Moscow: Nedra Publishing House, 1973. – 136 pp. [In Russ.].
17. Kravtsov, A.I. Fundamentals of the Geology of Fossil Fuels. – Moscow: Highest School Publishing House, 1982. – 424 pp. [In Russ.].
18. Bogomazov, V.M. Classification of Coal-Bearing Formations, Basins, and Deposits in Russia. *Geology of Coal Deposits*. Yekaterinburg: UGGGA Publishing House, 2001. Issue 11. pp. 23–28. [In Russ.].
19. Matveev, A.K. Classification of Coal Basins // In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 53–60. [In Russ.].
20. Ivanov, G.A. Coal-Bearing Formations. – Leningrad: Nauka Publishing House, 1967. – 407 pp. [In Russ.].
21. Ovchinnikov, L.N. Mineral Resources and Metallogeny of the Urals. – Moscow: Geoinformmark Publishing House, 1998. – 412 pp. [In Russ.].
22. Takranov, R.A. Geological Work at Coal Quarries. – Moscow: Nedra Publishing House, 1975. – 296 pp. [In Russ.].
23. Starostin, V.I. Geology of Minerals / V.I. Starostin, P.A. Ignatov. – Moscow: Moscow State University Press, 1997. – 304 pp. [In Russ.].
24. Skursky, M.D. The Subsurface of Transbaikalia. – Chita: Regional Printing House, 1996. – 698 pp. [In Russ.].
25. Peldyakov, I.S. Geology of Fossil Coal Deposits. – Moscow: Ugletekhizdat Publishing House, 1954. – 310 pp. [In Russ.].
26. Ivanov, G.A. Major Factors in the Formation of Coal-Bearing Formations and Their Interrelationships. In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 14–23. [In Russ.].
27. Logvinenko, N.V. The Current State of Research on the Formation of the Chemical Composition of Rocks in Coal-Bearing Formations / N.V. Logvinenko, V.V. Vorontsov, P.V. Zaritsky, et al. In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 86–95. [In Russ.].
28. Botvinkina, L.N. Classification of Landscapes in Coal-Bearing Formations / L.N. Botvinkina, A.V. Makedonov, A.A. Lyuber // In: *Coal-Bearing Formations and Their Genesis*. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 31–41. [In Russ.].
29. Strakhov, N.M. Fundamentals of the Theory of Lithogenesis. Vol. VI. Patterns of Composition and Distribution of Humic Deposits. – Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. [In Russ.].
30. Shcherbak, G.G. Patterns in the Formation of Engineering-Geological Conditions of Coal Deposits in Eastern Siberia and Their Impact on the Stability of Open-Pit Mine Walls: Dissertation ... for the Degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences / Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. – Tomsk, 2002. – 445 pp. [In Russ.].
31. Mineral Deposits. – Moscow: Moscow State University of Geology and Geography Press, 2001. – 570 pp. [In Russ.].
32. Coal Basins and the Conditions of Their Formation. – Moscow: Nauka Publishing House, 1983. – 246 pp. [In Russ.].
33. Golitsyn, M.V. Coking Coals of Russia / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn. – Moscow: Moscow State University, 1992. – 179 pp. [In Russ.].
34. Azhgirevich, L.F. Patterns of Distribution and Formation of Fossil Fuels. – Minsk: Science & Technique Publishing House, 1986. – 175 pp. [In Russ.].
35. Mironov, K.V. Handbook for Coal Geologists. – Moscow: Nedra Publishing House, 1991. – 362 pp. [In Russ.].
36. Golitsyn, M.V. All About Coal / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn. – Moscow: Nauka Publishing House, 1989. – 192 pp. [In Russ.].
37. Zhemchuzhnikov, Yu.A. General Geology of Fossil Coals. – Moscow: Ugletekhizdat Publishing House, 1948. – 490 pp. [In Russ.].



38. Kolesnikov, V. F. Development and Justification of Methods and Schemes for Exposed Working Seams in Coal Quarries: Specialty 05.15.03: Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Valery Fedorovich Kolesnikov. – Kemerovo, 1999. – 325 pp. [In Russ.].
39. Transformation of a Coal-Bearing Zone into a Coal-Free One at the Open Pit / O. Litvin, E. Tyuleneva, V. Kolesnikov, A. Dobrov. *E3S Web of Conferences*. 2018;41:01020. – DOI 10.1051/e3sconf/20184101020.
40. Geology of Coal and Oil Shale Deposits in the USSR // General Data on Coal Basins and Deposits of the USSR. – Moscow: Nedra Publishing House, 1978. – Vol. 12. – 530 pp. [In Russ.].
41. Rzhnevsky, V.V. Open-Pit Mining. Textbook for Universities. Part 2. Technology and Comprehensive Mechanization // Moscow: Nedra Publishing House. – 1985. – 549 pp. [In Russ.].
42. Vasyuchkov, Yu.F. Mining // Moscow: Nedra Publishing House, 1990. – 512 pp. [In Russ.].
43. Guidelines for Standardization, Planning, and Economic Assessment of Coal Losses in the Subsurface of the Kuznetsk Basin: Open-Pit Mining // Leningrad: VNIMI, 1991. – 23 pp. [In Russ.].
44. Levenshtein, L.M. Characteristics of the Transformation of Organic Matter in the Late Stages of Lithogenesis (Catagenesis and Metagenesis) / L.M. Levenshtein, M.V. Golitsyn, E.M. Pakh, et al. // In: Coal-Bearing Formations and Their Genesis. – Moscow: Nauka Publishing House, 1973. – pp. 105-112. [In Russ.].
45. Senderzon, E.M. How the Kuzbass Coals Were Formed. – Kemerovo: Kemerovo Book Publishing House, 1954. – 75 pp. [In Russ.].
46. Eryomin, I.V. Petrography and Physical Properties of Coals / I.V. Eryomin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev. – Moscow: Nedra Publishing House, 1980. – 263 pp. [In Russ.].
47. Metamorphism of Coals and Epigenesis of Host Rocks / Edited by G.A. Ivanov. – Moscow: Nedra Publishing House, 1975. – 256 pp. [In Russ.].
48. Shtakh, E. Petrology of Coals / E. Shtakh, M.T. Makovski, G. Taylor; Translated from English. – Moscow: Mir Publishing House, 1978. – 350 pp. [In Russ.].

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Mikhail D. Skursky, Dr.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Surveying and Geology Department
e-mail: skurskymd@kuzstu.ru

Transbaikal State University
30 Alexandro-Zavodskaya str., Russian Federation, Chita, 672039

