

Р.Р. ХАСАНОВ

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОРУДЕНЕНИЯ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ УГЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Исследованы особенности распределения элементов-примесей (ЭП) в угольных пластах Камского бассейна, отмечены возможные факторы, способствующие концентрации. Впервые в рассматриваемых углях изучен комплекс элементов группы редких земель (лантаноиды и иттрий). Проведен сравнительный анализ условий накопления рудного вещества в раннекаменноугольной и пермской угленосных формациях.

Угленосные формации — типичные осадочные образования, широко распространенные в земной коре. Они представляют научный и практический интерес не только из-за углей как ценного энергетического и технологического сырья, но и благодаря способности органического вещества (ОВ) концентрировать металлы [3, 6, 14].

К осадочным формациям центральной части Волго-Уральской антеклизы приурочены многочисленные проявления ископаемого угля и непромышленные скопления металлов, между которыми прослеживаются парагенетические связи. В палеозойских отложениях рассматриваемой территории отмечаются три уровня с углями [1]: девонский (франский), раннекарбонный (визейский) и пермский (казанский ярус). Объекты настоящего исследования — наиболее распространенные, с максимальными угольными ресурсами раннекаменноугольная и пермская угленосные формации. Помимо прочего развитие угленосных отложений на значительной площади, охватывающей территорию Татарского свода и прилегающих структур, является фактором региональной минерагенической зональности.

Исследованию подверглись угольные залежи, расположенные на территории Республики Татарстан. В визейских отложениях опробованы 17 угольных залежей, вскрытых нефтяными скважинами. В пермской угленосной толще опробованы угли и породы по естественным обнажениям и керну скважин (шесть углепроявлений и несколько десятков разнообразных угольных включений). Основная цель исследования — сравнительная характеристика раннекаменноугольной и пермской угленосных формаций и анализ генетических причин возникновения концентраций рудного вещества.

Для достижения цели исследованы породы угленосных формаций, состав и свойства углей с применением физических и химических методов изучения вещества. Оценка главных тенденций распределения металлов осуществлялась на основе результатов приближенно-количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа (> 600 анализов). Средние содержания ЭП в углях раннекаменно-

угольного и пермского возрастов отображены в табл. 1. Исследование редкоземельных элементов (РЗЭ) проводилось с помощью количественного химического анализа, выполненного на фотоколориметре КФК-2МП (34 анализа) в ЦНИИГеолнеруд (Казань). Содержание РЗЭ в золе углей приведено в табл. 2. Вещественный состав исследуемых образцов изучался стандартными оптико-микроскопическими методами в проходящем и отраженном свете с использованием результатов рентгенофазового анализа.

Таблица 1

Среднее содержание микроэлементов в углях Камского бассейна (г/т)

Элемент	Содержание в углях по эпохам углеобразования	
	каменноугольная	пермская
Be	2	4
Sc	11	14
P	211	481
Mn	27	429
Pb	10	24
Sn	2	2
Ga	7	10
Ge	2	2
Mo	4	33
V	22	63
Li	7	15
Cu	14	26
Cd	0,5	0,5
Ag	1	0,1
Zn	47	117
Ti	1330	1604
Co	12	16
Ni	21	65
Zr	159	108
Cr	38	71
Sr	55	341
Ba	38	349
Y	18	25
Yb	2	4

Содержание и индикаторные соотношения РЗЭ

Номер образца	Возраст	Зольность, %	Содержание в золе, г/т														La/Yb	Eu/Sm			
			Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb			Y	Se	Th
947/7	C ₁	17,6	61,000	3,400	2,000	1,100	0,200	0,500	26,000	0,080	32,000	14,000	8,700	0,700	0,120	0,660	13,000	0,030	2,700	39,4	0,1
310/4	То же	62,31	51,000	0,740	1,800	0,660	2,100	0,060	20,000	0,020	26,000	12,000	5,700	0,220	0,040	0,080	1,300	0,010	0,450	250,0	0,1
310/8	» »	28,3	3,200	0,170	4,600	0,030	0,250	0,015	1,400	0,015	1,600	0,780	0,390	0,030	0,030	0,030	0,750	0,015	0,430	46,7	0,1
310/17	» »	22,3	1,400	0,080	8,300	0,010	1,140	0,010	0,700	0,010	1,200	0,380	0,200	0,010	0,020	0,020	0,320	0,010	0,290	35,0	0,1
310/31	» »	48,0	0,010	0,010	7,100	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,070	1,0	1,0
936/3	» »	17,4	0,010	0,010	0,030	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,030	0,010	0,010	0,010	0,010	1,0	1,0
1075/2	» »	17,2	190,000	3,900	1,500	1,900	8,100	0,440	99,000	0,050	60,000	45,000	12,000	1,000	0,160	0,330	8,200	0,025	1,200	300,0	0,2
4142/3	» »	16,7	0,370	0,010	1,800	0,010	0,040	0,010	0,010	0,010	0,040	0,260	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	1,0	0,5
8059/3	» »	37,9	45,000	1,200	4,000	0,730	2,400	0,140	21,000	0,020	22,000	12,000	4,400	0,300	0,050	0,180	3,000	0,010	0,380	116,7	0,2
8059/8	» »	7,64	55,000	3,200	3,900	1,600	5,700	0,450	26,000	0,030	43,000	20,000	8,900	0,830	0,380	0,410	0,810	0,015	0,015	63,4	0,2
8059/11	» »	72,8	120,000	6,000	3,200	2,800	10,000	0,940	54,000	0,100	76,000	35,000	15,000	1,500	0,470	1,100	20,000	0,030	1,200	49,1	0,2
933/11	» »	22,4	0,310	0,070	1,400	0,005	0,150	0,005	0,220	0,005	0,200	0,200	0,110	0,010	0,150	0,010	0,180	0,005	0,005	22,0	0,05
10/134.2	P ₂	49,5	10,000	1,500	3,900	0,340	1,500	0,300	5,600	0,070	7,600	3,500	1,800	0,230	0,250	0,740	7,200	0,260	1,100	7,6	0,2
5/у2	То же	87,7	0,015	0,015	0,880	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	1,0	1,0

Раннекаменноугольные (визейские) углепроявления локализованы в изолированных эрозионно-карстовых врезках на древней поверхности турнейской карбонатной толщи [11]. По природному типу визейские угли гумусовые, по марочному составу относятся к каменным (марка Д), участками обладают свойствами бурых (БЗ) и характеризуются невысокой зольностью (15—26 %).

Как показали проведенные исследования, содержание ЭП в визейских углях в целом близко к кларку углей для месторождений России и стран СНГ (табл. 1), но отмечаются геохимические аномалии германия и серебра. В южной части Мелекесской впадины выявлена геохимическая специализация Южно-Нурлатской и Егоркинской угольных залежей на Ge, где его содержание колеблется от нескольких грамм на тонну до 20—25 г/т в угле (в золе до 400 г/т). Там же отмечены локально-высокие концентрации Ag — до 8 г/т в угле. Повышенное количества выявлены для Ga, Pb, Mn, Zn, Cr, Ti. Для перечисленных элементов (кроме германия и серебра) установлена приуроченность к прикровельной и приподшвенной частям пласта. Распределение германия и серебра может варьировать в различных угольных пластах. При этом прослеживается слабая тенденция зависимости концентраций Ge и Ag от марочного состава углей. Это проявляется в приуроченности Ge и Ag к южным залежам, характеризующимся наиболее высокими значениями показателя отражения витринита [8].

Впервые в визейских углях количественно определен комплекс элементов группы редких земель (РЗЭ), которые могут представлять интерес в качестве скрытых форм оруденения (табл. 2). Результаты исследований свидетельствуют о чрезвычайно неравномерном распределении РЗЭ, как в разрезе угольных пластов, так и в различных залежах. В разрезе угольных пластов для РЗЭ (как и для большинства ЭП) типично увеличение концентраций в прикровельной и припочвенной частях пласта. При этом зависимость от величины зольности и петрографического состава углей не наблюдается. Наиболее высокие концентрации обнаруживает цериевая группа (Ce, La, Nd, Pr), несколько повышено содержание Gd, Sm и Y (рис. 1). В различных угольных залежах разброс значений по отдельным элементам достигает двух—трех порядков, например, Ce 0,02—178, La 0,02—72, Nd 0,02—86 г/т, но явных закономерностей в латеральной изменчивости распределения РЗЭ не выявлено.

Изучение РЗЭ в углях немногочисленны, поэтому возможности сравнения исследуемых углей с углями других бассейнов ограничены. Предварительная типизация углей в мире по распределению РЗЭ, проведенная В.В. Серединым [10], позволяет оценить положение визейских углей Камского бассейна: характерны четыре основных типа распределения РЗЭ: *N*-тип (нормальный для земной коры), *L*-, *M*-, и *H*-типы, характеризующиеся накоплением легких,

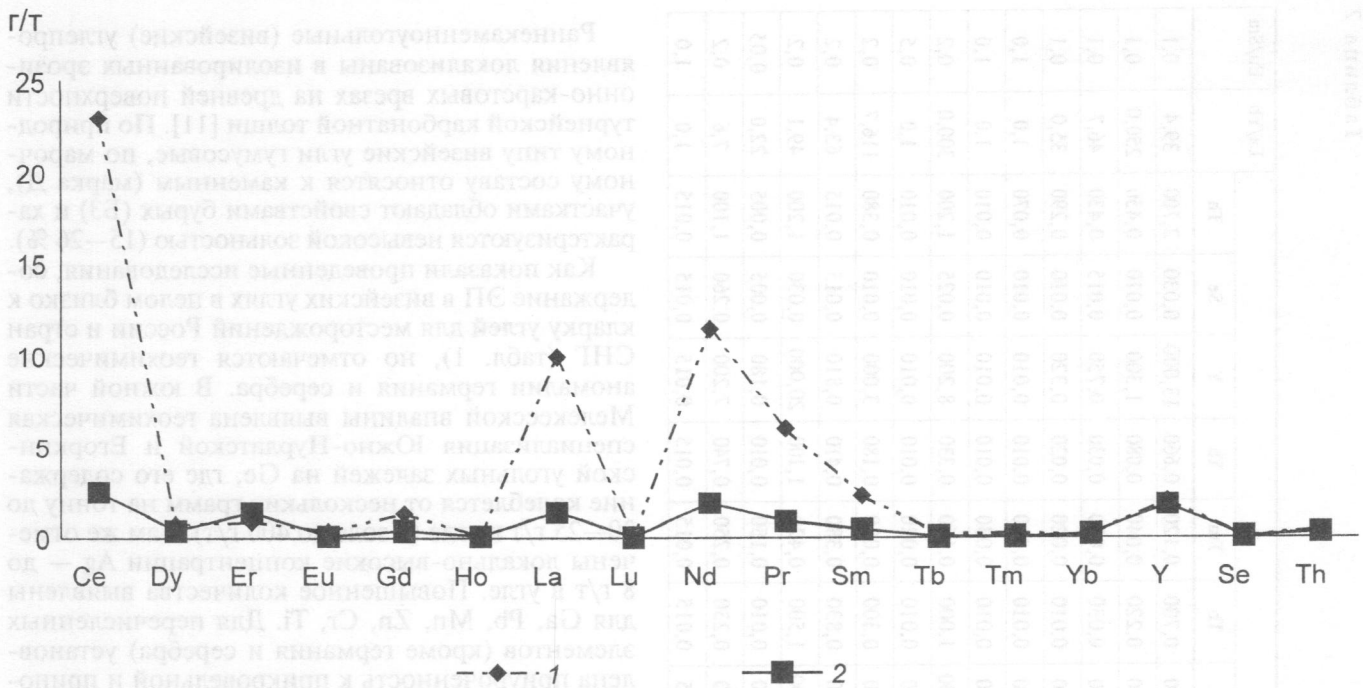


Рис. 1. Распределение PЗЭ в раннекаменноугольных (1) и пермских (2) углях

средних и тяжелых лантаноидов. Индикаторные отношения PЗЭ в визейских углях следующие: La/Sm 2,7, Gd/Yb 9,2, La/Yb 46,6, что указывает на обогащение легкими лантаноидами (La/Yb > 1). Подобное распределение наблюдается для углей L-группы (привнос большей части PЗЭ с терригенным материалом) [10]. Примечательно и низкое отношение европия к самарию (в среднем 0,15). Европиевый минимум, по данным [2], может наблюдаться при наличии в обрамлении угленосных бассейнов кислых пород, в то время как в обрамлении визейской формации преобладают известняки и доломиты.

Пермские углепроявления приурочены к казанским отложениям (байтуганские и камышлинские слои), распространены на востоке Татарстана. В отличие от раннекаменноугольных углепроявлений пермским свойственна ассоциация с большим числом геохимических аномалий, приуроченных к углям, включениям растительных остатков и смежным сероцветным отложениям морского генезиса.

В неизменных пермских углях содержание большинства микроэлементов близко к значениям кларка угля (табл. 1). В то же время отмечаются значительные вариации как в разных углепроявлениях, так и по разрезу пласта. Концентрации большинства ЭП, в частности, Pb, Ge, Cu, Ag, Mo, Cr, Ni, увеличиваются в прикровельной и припочвенной частях пласта, и характеризуются повышенными значениями в мелких углепроявлениях. Например, в обнажении у руч. Сентяк (рис. 2) на правобережье Камы (камышлинская толща) выявлены значительные концентрации германия (64 г/т), меди (113), се-

ребра (34), свинца (386) и некоторых других металлов в приконтактных зонах пластов. По результатам корреляционного анализа по величине зольности микроэлементы можно разделить на две группы: связанные с органической (Ge, Cu, Ag, Be, Pb) и неорганической (Sc, Mn, V, Ti, Co, Ni, Cr, Mo, Cd, Yb, P, Zr) составляющими угля. Связь с ОВ указывает на сорбционную природу концентраций германия, меди, серебра и свинца в угольных пла-

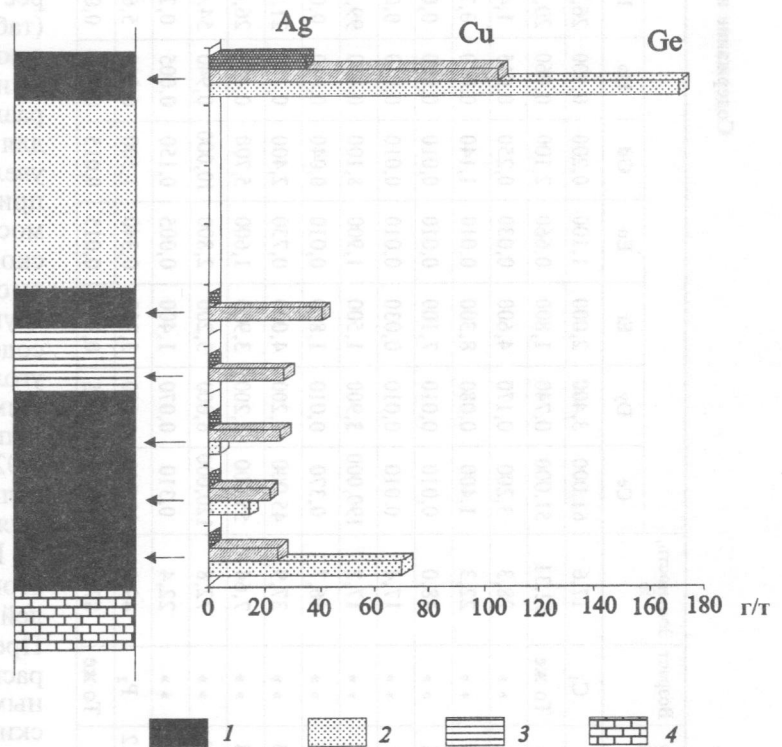


Рис. 2. Распределение Cu, Ag и Ge в углисто-глинистых пластах обнажения Сентяк: 1 – уголь, 2 – песчаник, 3 – глина, 4 – известняк

тах. Один из отличительных признаков пермских углей — многократное превышение (на порядок) концентраций стронция, бария и марганца относительно визейских углей (табл. 1), что служит индикатором при реконструкции условий седиментогенеза [13].

Распределение РЗЭ в пермских углях характеризуется теми же тенденциями, что и в визейских. Сравнение средних содержаний РЗЭ позволяет оценить их различия в распространении по бассейнам (рис. 2). Как видим, в пермских углях наибольшие концентрации обнаруживают лантаноиды Се, Ег, La, Nd, Pr, а также Sm и Y. Отметим, что содержания РЗЭ при этом значительно ниже. Индикаторные отношения лантаноидов в пермских углях (La/Sm 2,1, Gd/Yb 1,5, La/Yb 4,3) так же, как и в визейских, превышают 1, но характеризуются меньшими значениями (в том числе и отношение La/Yb), что указывает на возрастание роли тяжелых лантаноидов. В то же время пермским углям, как и визейским, присущи низкие значения Eu/Sm отношения (в среднем 0,2). Преобладание легких лантаноидов указывает на привнос РЗЭ в бассейн осадконакопления с обломочным материалом [10], который в пермский период поступал с интенсивно разрушающихся Уральских гор. В связи с изменением петрофлоры питающих провинций минеральный состав обломочного материала стал существенно иным, чем в карбоне.

Одна из главных особенностей пермских углей — ярко выраженная геохимическая связь с медепроявлениями. Область распространения геохимических аномалий и точек минерализации меди часто совмещена с зоной углеобразования. Следует подчеркнуть, что геохимическая специализация пермских углей отдельных залежей определяется ассоциацией Ge—Cu—Ag—(Pb). Она характерна и для проявлений медного оруденения, в которых главный фактор концентрации металлов — фоссилизованное ОВ. Его включения, в изобилии встречающиеся в верхнепермских отложениях, почти всегда отличаются аномальными содержаниями Ge и Cu.

Результаты исследований свидетельствуют о существенном различии состава связанных с углями скоплений рудного вещества. Выявленные особенности и различия требуют объяснения.

Известно, что накопление рудного вещества в угленосных формациях зависит от множества причин и происходит практически в течение всей геологической эволюции. Основные факторы углеобразования, определяющие геохимию накопления ЭП в углях, — петрографический состав питающей провинции, климатические условия литогенеза, фациальные условия торфонакопления, характер и степень углефикации и метаморфизма углей [6, 14]. Я.Э. Юдовичем [14] факторы, обуславливающие накопление редких элементов по отношению к угольному пласту, подразделяются на внешние и внутренние. Первые контролируют интенсивность поступления редких элементов в пласт, вторые — их условия аккумуляции в угольном ОВ.

Угленосная формация карбона формировалась в ранневизейское время в условиях гумидного ли-

тогенеза — жарких, увлажненных, но с некоторой засушливостью, на что указывают особенности строения растений-углеобразователей [8]. Угленосные отложения карбона сформированы в параглической обстановке [1] на пассивной платформенной окраине [5]. Вследствие преимущественного развития в обрамлении торфяников карбонатных отложений минеральный состав терригенного материала однороден. Угленосная формация сложена песчаниками, алевролитами и аргиллитами, часто углистыми, в обломочном материале которых преобладает кварц, реже встречаются полевые шпаты. Глинистое вещество представлено каолинитом и в подчиненном количестве монтмориллонитом. Фациальные условия визейского углеобразования отличались изменчивостью. В частности, это выражается в увеличении степени фузенизации углей в северном направлении и, наоборот, возрастании степени гелификации в южном [8]. Принимая во внимание, что именно с гелифицированными компонентами связан Ge в ОВ углей [14], более высокой степенью гелификации углей южных залежей можно объяснить его (возможно и Ag) повышенные концентрации. Околокларковые содержания большинства ЭП в визейских углях могут быть обусловлены внешними причинами — их изначально низким привносом в торфяники в составе обедненного минеральными компонентами терригенного материала, поступающего из карбонатных пород обрамления. Другая причина может заключаться в длительности и глубине метаморфизма визейских углей, достигших каменноугольной стадии преобразования. По данным [4], в процессе метаморфизма в ОВ гумусового ряда наблюдается рассеяние большинства ЭП, удаляемых из ОВ вместе с подвижными компонентами. В тоже время метаморфизм может привести к относительному увеличению доли Ge в результате вторичной конденсации фрагментов лигнинных структур и увеличения доли ароматических единиц с образованием прочных органогерманиевых соединений [14].

Концентрирование РЗЭ в приконтактных участках визейских угольных пластов может осуществляться двумя способами. Первый предполагает биогенное накопление РЗЭ в период жизнедеятельности растений и обогащение приконтактных участков пласта в результате окисления ОВ подземными водами [9]. Второй заключается в сорбции РЗЭ веществом углей вследствие длительного (несколько миллионов лет) соприкосновения с подземными водами. Учитывая крайне низкое содержание РЗЭ в центральных частях пластов (практически на пороге чувствительности метода), трудно предположить возможность локального увеличения концентраций РЗЭ в несколько десятков раз только за счет деструкции ОВ в краевых участках пласта. Следует также подчеркнуть, что наибольшие концентрации в визейских углях обнаруживают лантаноиды цериевой группы. Один из их наиболее распространенных концентраторов в земной коре — кальцит [7], главный минерал карбонатных пород в обрамлении торфяников. Это

позволяет предположить поступление в составе подземных вод РЗЭ, выщелачивающихся из окружающей карбонатной толщи. Латеральные вариации концентраций РЗЭ в этом случае будут контролироваться отличиями в гидрохимическом режиме подземных вод в разных участках угленосной площади. Причиной наблюдаемого в визейских углях Eu-минимума может быть преимущественно кварц-полевошпатовый состав обломочной компоненты угленосной формации. По данным [9], способностью к относительному накоплению тяжелых лантаноидов обладают темноцветные минералы (по сравнению со светлоокрашенными).

Пермские угленосные отложения формировались в обстановке бассейна форланда [5] и отвечают периоду кратковременной гумидизации [1] на фоне общей аридности климата. Вследствие этого геолого-геохимические условия образования пермской угленосной формации очень сложные и не имеют прямых аналогов. Важная особенность пермской угленосной формации — ее резкое геохимическое отличие от окружающих красноцветных отложений аридного литогенеза. Известно, что резкие изменения физико-химических параметров на путях миграции элементов создают благоприятные предпосылки для образования скоплений рудного вещества. Пермские угли гумусовые, соответствуют бурым (Б1), обладают относительно высокой зольностью (40—48 %). В зоне гипергенеза зольность может увеличиваться до 80 %. Низкая степень углефикации пермских углей и, как следствие, относительно высокая реакционность их ОВ являются благоприятными факторами для накопления ЭП. По-видимому, именно специфика условий образования стала причиной повышенных (относительно визейских углей) концентраций Sr, Mn, Ba в пермских углях. Sr и Mn — талассофильные элементы [13]. Их присутствие в углях можно объяснить поступлением с морской водой. Пермское углеобразование происходило в паралической обстановке и под сильным влиянием моря [1]. Отметим, что высокие содержания Sr, многократно превышающие фоновые, — отличительная особенность карбонатных отложений казанского возраста и обусловлены их формированием в условиях превышения испарения над количеством выпадающих осадков. Mn осаждался в условиях застойной морской среды [13], характерной для обстановки образования сероцветных глин (лингулового горизонта), где концентрировался в отмирающей органике. Ba — индикатор континентального седиментогенеза, его поступление в торфяник могло происходить в составе терригенной взвеси с метеорными водами.

Большая роль в медном рудообразовании принадлежит растительным остаткам и обломкам древесины, являющихся локальными геохимическими барьерами в среде аридных осадков [12]. Следует также отметить, что значительная часть ассоциирующихся с пермскими углеупреждениями геохимических аномалий меди приурочена к смежным морским сероцветным глинистым породам (горизонт лингуловых глин). Меденосные сероцветные гли-

ны обогащены органическим веществом (до 5 %) и содержат отпечатки фрагментов наземной растительности. Рассматривая генезис юрских горючих сланцев, Я.Э. Юдович [15] предложил концепцию образования черных сланцев, основанную на идее гумидизации климата в период их образования. Увлажнение климата приводило к заболачиванию побережья и поступлению в мелководный бассейн обогащенных органикой болотных вод. В конечном итоге это способствовало увеличению биопродуктивности поверхностных вод бассейна, снижению скорости минеральной терригенной седиментации и увеличению степени фоссилизации ОВ в придонном осадке. Тогда становится очевидным, что наблюдаемые парагенетические связи углеобразования и меденосности обусловлены едиными генетическими причинами (климатическими изменениями) и могут быть использованы в качестве критерия поискового прогнозирования.

Природа геохимических аномалий в пермских углях и угольных включениях связана большей частью с гипергенными процессами, приводящими к разрушению вещества углей и вторичной концентрации в них металлов. На это указывает орудование приконтактовых участков пластов. Примечательно отсутствие высоких концентраций ЭП в центральном угольном пласте обнажения Сентяк (рис. 2), что обусловлено, видимо, экранирующим действием верхнего и нижнего пластов, предохраняющим от активного гидрохимического контакта.

Пермские угли, как и визейские, в целом обогащены легкими РЗЭ. Наблюдаемое относительное увеличение содержания тяжелых лантаноидов может быть следствием формирования молассы за счет разрушения широкого комплекса магматических пород Урала, часть которых составляли мафит-ультрамафиты с высоким содержанием темноцветных минералов — основных концентраторов тяжелых лантаноидов. В связи с этим можно предположить, что наблюдаемое в углях фракционирование РЗЭ — следствие осадочной дифференциации вещества, приводящей к сортировке минералов выветривающихся магматических пород и образованию, таким образом, новых соотношений в провинциях сноса. ОВ углей аккумулирует РЗЭ в изменившихся пропорциях независимо от состава, степени и характера преобразования, а концентрации элементов зависят от длительности процесса аккумуляции.

Таким образом, изложенный материал свидетельствует об отчетливо выраженной вертикальной и латеральной неоднородности в распределении рудного вещества, вызванной распространением в регионе концентрированных и рассеянных масс ОВ. В ходе исследований установлено ярко выраженное геохимическое отличие исследованных углей, обусловленное разными условиями формирования и особенностями эволюции бассейнов углеобразования. Генетическая связь органоминеральных и рудных образований может служить основой для специальных прогнозно-минерагенетических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б л у д о р о в А.П. История палеозойского угленакопления на юго-востоке Русской платформы. М.: Наука, 1964. 275 с.
2. В и н о к у р о в С.Ф., К о п о р у л л и н В.И., С т у к а л о в а И.Е. Редкие элементы в угленосных отложениях: особенности распределения и геохимическое значение // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 5. С. 516–524.
3. В о й т к е в и ч Г.В., К и з и л ь ш т е й н Л.Я., Х о л о д к о в Ю.И. Роль органического вещества в концентрации металлов в земной коре. М.: Недра, 1983. 160 с.
4. Е р м о л о в Н.П., С о з и н о в Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах. М.: Наука, 1986. 173 с.
5. Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов / Е.А. Басков, Г.А. Беленицкая, С.А. Романовский и др. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.
6. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентраций элементов и методы их изучения / В.Р. Клер, В.Ф. Ненахова, Ф.Я. Сапрыкин и др. М.: Наука, 1988. 236 с.
7. М и н е в Д.А. Лантаноиды в минералах. М.: Недра, 1969. 184 с.
8. Петрографические типы визейских углей Камского бассейна. Атлас / Р.Р. Хасанов, Л.Я. Кизильштейн, Ш.З. Гафуров и др. Казань: Изд-во КГУ, 2001. 132 с.
9. Распределение редких земель в литосфере и космосе / Л.А. Хэскин, Ф.А. Фрей, Р.А. Шмитт, Р.Х. Смит. М.: Мир, 1968. 188 с.
10. С е р е д и н В.В. Основные закономерности распределения редкоземельных элементов в углях // Геохимия. 2001. Т. 377. № 2. С. 239–243.
11. Угольная база России. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части России. Камский угольный бассейн / Ш.З. Гафуров, И.А. Ларочкина, А.А. Тимофеев, Р.Р. Хасанов. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. С. 133–169.
12. Х а с а н о в Р.Р., Г а л е в А.А. Минералообразующая роль захороненных растительных остатков в процессе гидrogenного медного рудогенеза // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 1. С. 18–22.
13. Ю д о в и ч Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
14. Ю д о в и ч Я.Э., К е т р и с М.П. Неорганическое вещество углей. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 423 с.
15. Ю д о в и ч Я.Э. Генезис юрских горючих сланцев: концепция, развитая в институте геологии Коми НЦ УрО РАН // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2005. № 6. С. 22.

Казанский государственный университет
Рецензент — В.М. Цейслер

Температура пород увеличивается с глубиной, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.

$$(1) \quad T = \frac{t_2}{2} < T < \frac{t_1}{2}$$

В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.

$$(2) \quad L = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2}$$

В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.

Основным методом для изучения температуры пород является метод измерения сопротивления. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.

В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.

Основные уравнения

В работе используются следующие уравнения: $T = \frac{t_2}{2} < T < \frac{t_1}{2}$ и $L = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2}$. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств. В зависимости от температуры и давления происходит изменение фазового состояния минералов, что приводит к изменению их физических свойств.