

Л.Я. КИЗИЛЬШТЕЙН

СЛОИСТОСТЬ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ

Элементы-примеси (ЭП) концентрируются в результате химического взаимодействия с органическими и минеральными компонентами на торфяной стадии образования углей. Послойное распределение ЭП и обогащение ими контактов пластов с вмещающими породами определяются изменением условий торфонакопления.

Отечественные и зарубежные работы, посвященные геологии и геохимии ЭП в углях, в том числе Я.Э. Юдовича с соавторами [23—25], предоставляют в распоряжение исследователей обширные списки литературы, фактического материала и его интерпретации.

Тема предлагаемой работы — один из частных вопросов, который, однако, представляется принципиально важным: изменчивость концентраций ЭП в стратиграфических разрезах угольных пластов и часто повышенная концентрация некоторых из ЭП на контактах пластов с вмещающими породами и породными прослоями.

Ответ на этот вопрос определяет возможность (или невозможность) рассматривать процесс концентрирования ЭП как синхронный (сингенетичный) торфонакоплению, или следует считать, что концентрирование ЭП связано с геологическими процессами, происходящими после перехода торфяника в ископаемое состояние (в стадию диагенеза). Несмотря на упомянутые выше фундаментальные работы, эта проблема остается дискуссионной.

Концентрирование ЭП в микрокомпонентах углей

Новые научные работы, посвященные проблеме ЭП в углях, подтверждают наблюдения, сделанные десятилетия назад: любой микрокомпонент (органический или минеральный) в определенных условиях может содержать те или иные ЭП в больших концентрациях, чем остальные. В этом можно убедиться на примерах, приведенных в [23—25]. Различия концентраций ЭП в микрокомпонентах — следствие совместного действия значительного числа факторов, определяющих уровень накопления ЭП в угольном веществе.

В большинстве случаев концентрирование ЭП микрокомпонентами является результатом химических реакций и возникновения ионных, ковалентных или координационных связей [1, 2, 17, 22, 23].

Химический состав органической части торфа чрезвычайно сложен. Выделяемые микроскопическими методами основные компоненты: витриниты, инертиниты (фюзиниты), липтиниты — природные полимеры, состоящие из различных органических макромолекул. Химическая структура полимеров, слагающих даже одноименные органические компоненты, существенно зависит от бота-

нического вида растений-торфообразователей, анатомической принадлежности растительных тканей, степени биохимического разложения органического вещества (ОВ). Кроме химического состава и структуры органических соединений, эффективность концентрирования ЭП зависит от химической формы их миграции, состояния среды (температуры, pH—Eh), наличия природных катализаторов и т. д. Реакции между ЭП и ОВ торфа многостадийны, нестехиометричны, сопровождаются образованием промежуточных неустойчивых соединений. Многообразие факторов, влияющих на концентрирование ЭП органическим веществом торфа, дополняется их концентрированием минеральными компонентами: сульфидами, глинами, карбонатами.

В результате невозможно указать какой-либо микрокомпонент в качестве постоянно лидирующего концентратора ЭП. Группировка по признакам: связанные почти исключительно с ОВ углей, с ОВ и минеральной частью, почти исключительно с минеральной частью [23, табл. 17] показала, что ни один из нескольких десятков ЭП, изученных в углях многих бассейнов и месторождений мира, не был отмечен только в одной из указанных групп. Исключение — германий, который действительно связывается почти исключительно с ОВ углей, и более того, практически всегда — с гелифицированными микрокомпонентами (группа витринита) [22].

В углях Донецкого бассейна максимальные концентрации халько- и сидерофильных ЭП (Co, Ni, Cu, As, Se, Mo, Ag, Cd, Sb, Hg) установлены в сульфидах, находящихся в составе угольных пластов. Литофильные ЭП (V, Rb, Sr, Ba, редкоземельные, Hf, Th, U) концентрировались в глинистом веществе [8 (табл. 10,12); 12; 13].

Влияние на процесс концентрирования ЭП многих факторов, которым, имея дело с ископаемым материалом, трудно дать даже относительную количественную оценку, оправдывает использование интегрирующего понятия «условия торфонакопления». Опыт угольной геологии и геохимии показывает, что реконструкция этих условий может быть выполнена по комплексу признаков структуры и текстуры угольных пластов, петрографии, химического и технологического составов, ассоциации минеральных компонентов. Наиболее нагляд-

но и доступно изменение условий древнего торфонакопления фиксируется слоистостью угольных пластов. Автор считает, что именно стратиграфическая эволюция условий торфяной стадии углеобразования определяет вариации концентраций ЭП.

Слоистое строение угольных пластов — отражение изменений условий древнего торфонакопления

Слоистое строение угольных пластов отмечено уже первыми исследователями, обратившими внимание на различный блеск угольных пачек и слагающих их прослоев. Это было объяснено различиями петрографических ингредиентов угля в составе слоев. В дальнейшем слоистость углей была установлена и в распределении минеральных компонентов. Выделены морфолого-генетические типы минеральных включений, в том числе минеральных в форме слоев и линз, параллельных плоскости наложения пласта. К этой группе принадлежат терригенные минеральные компоненты углей — глины, кварц, слюды, полевые шпаты и акцессорные минералы. Слоистое распределение характерно и для минеральных включений в форме мелких зерен, к которым относятся сульфиды железа и карбонаты, а также сульфидные, карбонатные или кремнистые конкреции, т. е. аутигенные минеральные примеси. Согласно со слоистостью распределение K, Al, Si, не связанных с какими-либо минеральными формами (находящимися, видимо, в составе органо-минеральных соединений), установлено в углях методом рентгеноспектрального микроанализа [8].

Изменение геохимических условий торфонакопления при формировании слоев может быть показано на примере пирита [4—6]. Слои угля, более и менее обогащенные пиритом, часто распространены на больших площадях, при этом сохраняются мощность и положение слоев в пластах [6, рис. 14]. Тонкое послойное обогащение пиритом обнаружено при рентгенографическом изучении углей. Зависимость процессов сульфидообразования от геохимической среды торфяников не вызывает сомнений [4—6].

Современные торфяники в качестве модели торфяной стадии формирования угольных пластов представляют материал, свидетельствующий о связи между изменениями содержания серы и сульфидов в торфе и условиями торфонакопления [9].

Убедительные в этом отношении данные получены при изучении послойного распределения серы и сульфидов в торфяниках дельты Немана и побережья Куршского залива (Литва) [13]. Показано, что изменению солености Балтийского моря в четвертичное время соответствует таковому сернистости синхронных слоев прибрежно-морских торфяников. К аналогичному заключению приводит изучение серы и сульфидов в торфяниках Колхидской низменности (Грузия) [20].

Послойная изменчивость в связи со стратиграфической эволюцией условий торфонакопления характерна не только для серы и сульфидов, но и зольности, химических компонентов золы, мине-

ралогии глин, петрографии углей, «восстановленности», спорово-пыльцевых комплексов. Иными словами, это свойство всех компонентов углей, формирование которых происходит на торфяной стадии углеобразования. Можно предположить, что аналогичные причины определяют послойное изменение концентраций ЭП.

Распределение элементов-примесей в стратиграфических разрезах угольных пластов

Вопрос о стратиграфической изменчивости концентраций ЭП и обогащении контактов угольных пластов с вмещающими породами обсуждался неоднократно [25].

Послойное изменение концентраций ЭП в современных торфяниках вызвано изменением условий торфонакопления. Рассмотрим несколько примеров. В.А. Ковалев и В.Р. Бенсман [15] исследовали низинный пойменный торфяник с активным минеральным питанием (1), низинный котловинный с менее активным (2) и верховой, преимущественно атмосферного питания (3). Определялись Fe, Ti, Mn, Pb, Cu, Ni, Zn, Sr в нижнем, среднем и верхнем горизонтах каждого торфяника. В (1) и (2) максимумы концентраций ЭП, а также максимумы зольности и содержания минеральных примесей установлены в нижних и верхних пачках. В (3) эти различия менее отчетливы. Средние содержания всех ЭП в торфе снижаются от (1) к (3). Авторы [3] объясняют это периодическими изменениями режима речной системы, связывающей торфяники с внешними источниками минерального питания.

Интересно отметить, что повышенная концентрация ЭП в поверхностном горизонте низинных торфяников (1, 2) объясняется в [3] пахотными работами в области минерального питания, усиливающими эрозию почв и снос ЭП в область торфонакопления. Несмотря на то, что речь идет об антропогенном явлении, вполне допустима аналогия с процессами усиливающейся денудации водосборов, которые могли бы происходить в естественных условиях.

Послойное распределение ЭП в торфяных залежах отмечено в [16, 19]. Во всех случаях оно связывается с изменением условий водно-минерального питания в период торфонакопления.

Автором изучено распределение ЭП в антрацитовых угольных пластах Шахтинско-Несветаевского геолого-промышленного района Восточного Донбасса. Пробы отбирались в лавах бороздами, ориентированными нормально к плоскости наслоения, длиной от 20 до 70 мм по всем визуально выделяемым слоям. Бороздами длиной 20 мм опробовались слои угольных пластов, прилегающие к почве и кровле (в дальнейшем — «контакты с почвой и кровлей»). Совместно пробы составляли практически непрерывный разрез пласта. В каждой пробе определялась зольность и сульфидная сера. Наблюдения показали, что выделенные слои сохраняют свое положение в пластах по крайней мере на протяжении 5—10 м. Проследить слои на большее расстояние оказалось технически невозможным.

ЭП в угле (без озоления проб) определялись методом нейтронной активации [8]. Вместе с пробами отбирались образцы для петрографического изучения углей с использованием метода ионного травления [14]. Всего таким образом изучено 27 разрезов (пластопересечений).

Результаты определения ЭП по одному из типичных разрезов (пласт i_2^1 , шахта «Юбилейная») приведены в таблице. Изученный пласт состоит из двух пачек, разделенных прослоем аргиллита мощностью 30 мм (таблица).

Полученные данные рассматриваются отдельно по пачкам пласта (нижняя — пробы № 9—15, верхняя — 2—7), породному прослою (№ 8) и контактовым зонам пласта с почвой (№ 16) и кровлей (№ 1). Породы почвы и кровли сложены аргиллитами. Приведенные данные позволяют заключить:

1. В верхней пачке пласта в целом заметны более высокие зольность и содержание сульфидной серы. Это указывает на трансгрессивный тип торфонакопления, т. е. на его эволюцию от верхового к низинному типу в характерной для Донбасса обстановке морского побережья [6]. Рост зольности (следовательно, концентрации минеральных примесей) свидетельствует об усилении проточности торфяника; увеличение сульфидной серы — об усиливающемся влиянии морских вод [5]. Активизация гидрологического режима торфяника подтверждается увеличением в стратиграфическом разрезе пласта количества перидермитового и кислотно-перидермитового петрографических типов угля [14]. По результатам литохимических расчетов можно заключить, что в стратиграфическом разрезе растет содержание гидрослюды и уменьшается концентрация каолинита, что также может свидетельствовать об усилении влияния на торфяник морских вод [8]. Максимальное количество гидрослюды отмечено в аргиллите породного прослоя (>30 % от массы породы) [8, табл. 9].

2. Концентрация всех халько- и сидерофильных ЭП в верхней пачке пласта более высокая, чем в нижней. Результаты послойного опробования (таблица) обнаруживают сложную картину распределения ЭП. Для большинства из них слои с максимальной концентрацией расположены в средних слоях пачек — № 3, 4 в верхней (Fe, Co, Ni, As, Se; Mo, Cd, Sb, Hg) и менее отчетливо — № 11, 12, 13 в нижней (Fe, Co, As, Se, Cd). Обратим внимание на то, что именно в этих слоях отмечены наиболее высокие концентрации сульфидной серы.

3. Большинство литофильных ЭП образует повышенные концентрации в слоях №3, 4, 5 верхней пачки. Исключения Sc, U, для которых положение максимумов неотчетливо вследствие низких и практически не изменяющихся концентраций в разрезе пласта. Указанные слои имеют наиболее высокую (в данном разрезе) зольность. В нижней пачке относительно высокие концентрации ЭП отмечены в слоях № 11, 12, за исключением Na, Ca, а также U, количество которого практически не изменяется. Выделенным слоям свойственна повышенная зольность.

Элементы-примеси (в г/г) в стратиграфическом разрезе угольного пласта i_2^1 (Восточный Донбасс)

Номер	Слой, см	A	S	Халько- и сидерофильные элементы										Литофильные элементы										
				Fe	Co	Ni	As	Se	Mo	Cd	Sb	Hg	Na	Ca	Sc	Cr	Br	Rb	Cs	Ba	La	Ce	Sm	Th
1	2,0	52,9	5,5	206	41	50	102	11	17	37	10	1	445	1361	6	57	50	1	345	33	67	3	7	16
2	2,5	17,2	2,4	48	34	20	54	5	9	14	5	5	377	404	3	22	12	1	244	15	34	1	6	1
3	3,0	19,3	4,1	108	27	29	166	6	12	6	5	6	525	1312	2	28	25	1	262	23	53	2	7	1
4	6,5	20,3	3,2	132	25	40	91	13	9	17	14	1	295	638	2	35	22	1	451	6	25	1	4	<1
5	5,5	22,1	2,9	35	20	16	26	12	6	10	6	3	209	611	1	24	29	70	315	8	40	1	2	<1
6	2,5	15,2	2,2	42	18	28	17	<1	6	12	3	4	262	515	2	27	1	<1	312	13	34	1	2	<1
7	2,5	15,5	1,9	40	18	38	17	6	8	6	3	3	348	611	3	43	17	<1	218	10	21	1	<1	1
8	2,5	60,9	2,6	32	14	86	50	8	9	6	9	4	1457	2391	28	67	42	257	518	32	74	2	21	1
9	5,0	12,7	1,9	13	5	42	24	2	11	7	1	1	371	645	1	15	24	29	323	16	10	2	1	<1
10	5,0	8,0	1,8	34	16	34	22	1	8	6	3	1	301	328	1	20	24	1	250	12	25	1	<1	<1
11	7,0	8,1	1,7	52	28	40	18	3	7	8	5	2	267	333	3	38	31	2	486	20	56	1	3	<1
12	6,0	12,0	2,1	44	20	35	7	2	3	6	<1	2	147	402	1	1	12	42	286	4	13	1	<1	<1
13	6,5	12,7	2,2	49	15	34	38	<1	6	12	4	2	342	485	1	6	15	1	312	11	27	1	<1	<1
14	7,0	8,1	1,8	19	13	25	1,5	<1	6	8	2	3	258	380	1	22	19	1	154	15	29	2	<1	<1
15	5,5	13,1	1,5	33	17	40	9	<1	8	6	3	3	203	612	2	33	19	1	167	17	30	2	1	<1
16	2,0	86,8	1,8	36	39	45	1	4	7	6	6	6	2154	774	12	205	3	272	1962	40	105	8	25	4

Примечание. A — зольность, %; S — содержание серы сульфидной, %; пробы: № 16 — контакт с почвой, № 1 — контакт с кровлей, № 8 — породный прослой.

4. Породный прослой (№ 8) сложен аргиллитом и характеризуется максимумами концентраций всех литофильных ЭП, за исключением U. Показательно, что халько- и сидерофильные ЭП не образуют здесь концентрации, заметно отличающиеся от вмещающих угольных слоев. В породном прослое установлены наиболее высокие содержания Na, Ca, Rb — элементов, вероятно, связанных с глинистыми минералами.

5. Уголь на контакте с почвой пласта имеет высокую зольность и низкое содержание сульфидной серы. Здесь отмечаются максимальные концентрации большинства литофильных ЭП (кроме Ca, Br). Из халько- и сидерофильных максимальные содержания отмечены только для Hg.

6. На контакте с кровлей выявлены высокая зольность и максимальное в описываемом разрезе содержание сульфидной серы. Для большинства халько- и сидерофильных ЭП (кроме As, Se, Sb, Hg, максимум которых смещен в слой №3, 4) здесь отмечены наиболее высокие концентрации, а из литофильных максимальные — только для Ca, Br, U.

Приведенный выше аналитический материал позволяет выделить некоторые закономерности распределения ЭП в разрезе угольного пласта.

Обсуждение аналитических данных

В результате опробования угольного пласта i_2 (Восточный Донбасс) и анализа данных (таблица) установлена сложная картина чередования слоев в разрезе пласта с различными концентрациями ЭП. При этом количества халько- и сидерофильных ЭП положительно коррелируют с сульфидной серой, что указывает на связь значительной части ЭП с сульфидами (пиритом). Содержание литофильных ЭП коррелирует с зольностью, т. е. содержанием минеральных примесей. Это, во-первых, может означать прямое концентрирование ЭП минеральными компонентами, например, глинами (преимущественно гидрослюдами) [10—12]. Во-вторых, рост зольности свидетельствует об усилении проточности торфяника и, как следствие, о возрастающей массе и концентрации растворенного минерального вещества. В результате увеличивается концентрации ЭП, химически связанных с органическим веществом торфа. На это указывает рост концентрации ЭП в ОВ «легких фракций», извлеченных из углей с возрастающей зольностью [7, 8, табл. 10]. Поскольку зольность и сернистость углей в основном связаны с условиями торфяной стадии углеобразования, и варьирование этих показателей в слоях в стратиграфических разрезах угольных пластов отражает изменения условий торфонакопления, можно заключить, что этим же *определяются послонные колебания концентраций ЭП.*

Остановимся далее на особенностях накопления ЭП на контактах угольного пласта с породами почвы и кровли. Впервые повышенные концентрации Ge на контактах установлены В.А. Зильберминцем и его коллегами в углях Донбасса [25]. Постоянное концентрирование в контактовых зонах характерно, по-видимому, только для германия,

ассоциации других ЭП, обогащающих контакты, от случая к случаю меняются.

Отмечено [25], что обогащение типично для контактов с перекрывающимися породами (с кровлей). Для контактов с подстилающими породами (почвой) подобное обогащение встречается реже и часто обнаруживается лишь при сравнении со средними концентрациями ЭП в прилегающих слоях угольного пласта. Заметное, хотя и менее выраженное, концентрирование отмечено и для контактовых зон породных прослоев в угольных пластах [25]. Подобный эффект контактового обогащения установлен для сульфидной серы и пирита [6].

Приведенные нами данные соответствуют указанным закономерностям. Определенные расхождения имеются лишь в объяснении причин контактового обогащения.

Вопрос о происхождении зон контактового обогащения угольных пластов обсуждался в литературе неоднократно [23, табл. 32]. Предложена, в частности, гипотеза вторичного обогащения контактов в результате диффузии и фильтрации обогащенных ЭП растворов в сформировавшийся угольный пласт или погребенный торфяник. Понятно, что в этом случае речь идет о процессах, происходящих после завершения торфонакопления. Как следствие, контактовое концентрирование ЭП генетически отделяется от послонного изменения их концентраций.

Контакты — зоны смены терригенной седиментации в период образования пород почвы в результате торфонакопления и торфонакопления вследствие терригенной (в случае карбонатных пород биохемогенной) седиментации пород кровли. Таким образом, начальным и конечным этапам торфонакопления (контактных зон) свойственны более активный гидрологический режим, увеличение поступления взвешенного и растворенного минерального материала, особые физико-химические условия.

Высокая зольность контакта с почвой свидетельствует об активной гидродинамике среды и сопутствующей аэрации — обстановке, неблагоприятной для сульфидообразования [6]. Это объясняет менее контрастное (или даже отсутствующее) контактовое обогащение пластов халько- и сидерофильными ЭП. С другой стороны, несульфидные минеральные примеси (в основном глины) формируют аномалии большинства литофильных ЭП.

Контакт с кровлей характеризуется значительно более низкой зольностью и высоким содержанием сульфидной серы. Концентрации большинства халько- и сидерофильных ЭП здесь высокие. Однако для некоторых (As, Se, Sb, Hg) они все же ниже, чем в слоях №3, 4. Литофильные ЭП, кроме Ca, не создают здесь контактового обогащения. Таким образом, распределение ЭП на контактах вполне объясняется вероятными гидрохимическими особенностями условий торфонакопления.

Возможность поступления позднедиагенетического растворенного минерального материала в погребенный торфяник исследована автором на примере серы и пирита в торфяниках Колхидской

низменности. В причерноморской части области торфонакопления бурением и опробованием изучен торфяник, залегающий под донными отложениями озера Палеастомы. Вследствие связи с морем воды озера соленые, с высоким содержанием сульфат-иона. Соответственно донные озерные отложения, образующие кровлю погребенного торфяного пласта, характеризуются высокими концентрациями серы и пирита. Однако верхняя пачка пласта торфа, сформировавшаяся до образования озера, следовательно, вне влияния морских вод, низкосернистая, и включения пирита в ней единичные. Таким образом, наличие в кровле пласта высокосернистых отложений не оказало ощутимого влияния на сернистость погребенного торфа, что указывает на отсутствие заметного проникновения озерных вод в погребенный торфяник. Этот вывод совпадает с данными В.Е. Раковского и Л.В. Пигулевской [18], изучавших погребенные торфяники, которые считают, что кровля является лишь фактором давления и заметного влияния на состав торфа не оказывает.

В естественном состоянии влажность торфа обычно превышает 90 %, влажность наименее диagenетически измененных бурых углей 40—60 %. Из сопоставления этих цифр видно, что уже самые ранние этапы углеобразования сопровождаются «выжиманием» из торфа больших масс воды. Возможно подобная фильтрация «диагенетических флюидов» могла привести к некоторому вторичному обогащению контактовых зон торфяных (угольных) пластов. Если этот процесс имел заметные последствия, он, несомненно, должен был нарушить послонное распределение не только ЭП, но и серы (пирита), чего не наблюдается. Что же касается обогащения контактов ЭП за счет фильтрации и диффузии седиментационных вод со стороны вмещающих пород, то подобное перемещение должно было происходить в направлении, обратном движению «отжимаемых» растворов. Возникающие в связи с этим логические трудности кажутся непреодолимыми.

Возможности вторичной минерализации угольных пластов в результате эпигенетических процессов в кровле, например, размывов, разумеется, нельзя исключить. Однако морфология возникающих при этом текстур настолько характерна, что не вызывает сомнений в интерпретации. С размывами кровли связано окисление угольного вещества и образование уран-угольных рудных тел [3]. Здесь же установлены повышенные концентрации Co, Zn, Ge, Se, Mo, Ag, Th и др. Однако все эти явления носят локальный характер.

В заключение отметим, что эффект обогащения проявляется также на контактах породных прослоев, заключенных в угольных пластах. Их происхождение аналогично контактовым зонам у почвы и кровли с той разницей, что зона у основания прослоя ближе по условиям накопления ЭП к контакту с основной кровлей пласта, над прослоем — у почвы. С позиции гипотезы диффузии—фильтрации происхождение этих зон объяснить еще труднее, чем у основания и кровли.

Таким образом, послонная изменчивость концентраций ЭП и обогащение ими контактов с вмещающими породами и породными прослоями определяется изменениями условий древнего торфонакопления. Процессы химического взаимодействия ЭП с органическим веществом торфа весьма тонкие и своеобразные для каждого элемента. Поэтому можно сделать вывод лишь о некоторой общей тенденции, проявляющейся в угольных пластах и месторождениях для разных ассоциаций ЭП [25].

Выявление особенностей распределения ЭП в стратиграфических разрезах угольных пластов может быть необходимо в случае селективной отработки ЭП как попутных полезных ископаемых. Подобная перспектива обсуждается, например, в отношении Se, V, Ge, Th, U и TR в прилегающих к почве слоях пласта «Мощный» Южно-Якутского бассейна [25, с. 212].

Выводы

1. ЭП в углях накапливаются и концентрируются в результате их химического взаимодействия с органическими минеральными компонентами на торфяной стадии углеобразования.

2. Периодические изменения условий торфонакопления определяют послонное изменение состава и качества торфа, в перспективе — угольных пластов.

3. Послонное распределение концентраций элементов-примесей также связано с изменениями условий древнего торфонакопления.

4. Повышенные концентрации ЭП в зонах контактов угольных пластов с вмещающими породами и породными прослоями формируются вследствие возникновения особых геохимических условий в период смены осадконакопления торфонакоплением (контакт с почвой пластов) и торфонакоплением осадконакоплением (контакт с кровлей).

5. Послонное изменение концентраций ЭП в угольных пластах должно быть принято во внимание при обосновании технологий селективного извлечения ЭП как попутных полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войткевич Г.В., Кизильштейн Л.Я., Холодков Ю.И. Роль органического вещества в концентрации элементов в земной коре. М.: Недра, 1983. 160 с.
2. Гарновский А.Д., Кизильштейн Л.Я. Особенности связывания металлов в ископаемом органическом веществе земной коры и принцип ЖМКО // Изв. Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Естественные науки. 1985. № 1. С. 46—50.
3. Данчев В.И., Стрелянов Н.П. Уран-угольные месторождения и их главные типы // Геология рудных месторождений. 1973. № 3. С. 66—80.
4. Кизильштейн Л.Я. Связь сернистости углей с фациальным составом пород угленосной толщи // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 9. С. 72—76.
5. Кизильштейн Л.Я. Геохимические индикаторы условий древнего торфонакопления // Химия твердого топлива. 1973. № 4. С. 42—49.

6. Кизильштейн Л.Я. Генезис серы в углях. Р-Дону: Изд-во РГУ, 1975. 200 с.
7. Кизильштейн Л.Я. Условия образования и германие-носность нижнеюрских угольных месторождений западной части Северного Кавказа // Изв. вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки. 1998. № 2. С. 90–95.
8. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Р-Дону: Изд-во Сев.-Кавказ. научн. центра высш. шк., 2002. 296 с.
9. Кизильштейн Л.Я., Минаева Л.Г. Исследования биогенной сульфатредукции в торфе в связи с проблемой сернистости углей // Химия твердого топлива. 1972. № 4. С. 116–122.
10. Кизильштейн Л.Я., Перетягко А.Г., Гофен Г.И. Палеогеографические закономерности распределения элементов-примесей в угольных пластах // Литология и полезн. ископаемые. 1988. № 3. С. 129–134.
11. Кизильштейн Л.Я., Перетягко А.Г., Гофен Г.И. Новые данные о распределении элементов-примесей между компонентами угольного вещества // Литология и полезн. ископаемые. 1989. № 6. С. 29–38.
12. Кизильштейн Л.Я., Перетягко А.Г., Гофен Г.И. Концентрирование элементов-примесей в углях с позиции концепции жестких и мягких кислот и оснований // Химия твердого топлива. 1989. № 2. С. 132–138.
13. Кизильштейн Л.Я., Пугачев В.И. Связь сернистости торфов с физико-географическими типами торфяных месторождений // Торфяная промышленность. 1973. № 11. С. 18–21.
14. Кизильштейн Л.Я., Шпиглуз А.Л. Атлас микрокомпонентов и петрогенетических типов антрацитов. Р-Дону: Изд-во Сев.-Кавказ. научн. центра высш. шк., 1998. 254 с.
15. Ковалев В.А., Бенсман В.Р. Характеристика химического состава минеральных компонентов торфа // Докл. АН БССР. 1967. Т. 11. № 7. С. 72–76.
16. Крештапова В.Н. Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях европейской части РСФСР. М., 1974. 200 с.
17. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М.: Наука, 1964. 315 с.
18. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. М.: Недра, 1978. 231 с.
19. Свентиховская А.Н., Тюренов С.Н. Распределение микроэлементов в торфяных залежах // Химия и химическая технология. В. 3 (16). М.: Недра, 1967. С. 76–84.
20. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И., Кизильштейн Л.Я. Сульфидообразование в области современного торфонакопления Рионского межгорного прогиба: Сообщение 1 // Литология и полезн. ископаемые. 1994. № 1. С. 3–28.
21. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И., Кизильштейн Л.Я. Сульфидообразование в области современного торфонакопления Рионского межгорного прогиба: Сообщение 2 // Литология и полезн. ископаемые. 1994. № 2. С. 3–16.
22. Шпирт М.Я., Сендульская Т.И. Распределение германия и типы его соединений в твердом топливе // Химия твердого топлива. 1969. № 2. С. 3–11.
23. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей (неорганические компоненты) АН СССР, Коми филиал Института геологии. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. 262 с.
24. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука (Ленинград. отд.), 1985. 239 с.
25. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. Екатеринбург, 2002. 422 с.

Ростовский государственный университет
Рецензент — А.П. Бакалина

УДК 552.54+553.6:551.72

В.Г. КУЗНЕЦОВ, Н.М. СКОБЕЛЕВА, М.А. БЕЛЯКОВ

МАГНЕЗИТ-КАЛЬЦИТОВАЯ АССОЦИАЦИЯ В РИФЕЕ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОЙ ЗОНЫ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА)

В рифейских отложениях Куюмбинской площади Юрубчено-Тохомской зоны обнаружена своеобразная кальцит-магнезитовая минеральная ассоциация. Установлена обратная зависимость отношения кальцит/магнезит от содержания нерастворимого остатка. Предполагается, что раздельное осаждение этих двух минералов определялось высоким значением рН среды. Последнее обусловлено жизнедеятельностью цианобактериальных сообществ, которые извлекали из воды углекислый газ, способствуя тем самым повышению щелочности.

Магнезитовые породы и вообще породы со значительным содержанием магнезита достаточно редки в разрезах фанерозоя. Как правило, они приурочены к основаниям мощных соленосных серий, где ассоциируют с доломитами, ангидритами, и отложениями щелочных (содовых) сульфатных и сульфат-магниевого озер [6]. В докембрийских образованиях магнезитовые породы распространены значительно шире, причем в ряде случаев они образуют крупные месторождения (Саткинское и Семибратское на Урале, Савинское в Восточных Саянах, Кухилальское на Юго-Западном Памире, Удерейское на Енисейском кряже, Мало-Хинганское в Монголии, Деопалахатигаон, Джосхигаон-Чаупта и Питхорагарская группа в

Гималаях, Риачо-Фундо и Чедро в Бразилии, Стивенский район в штате Монтана США и др. [7, 11]. В большинстве случаев такие месторождения залегают в существенно метаморфизованных породах и сами в значительной мере метаморфизованы (сложены так называемыми кристаллическими магнезитами), которые, как справедливо отмечено в [11], традиционно, хотя и бездоказательно, считаются эндогенными — гидротермально-метасоматическими.

В собственно осадочных, практически нематоморфизованных породах, по-видимому, наиболее древние магнезиты установлены в нижнекембрийской и ее фациальном аналоге тарской свитах венда — нижнего кембрия [2, 3, 10].