Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXV, вып. 2, 1959 г.

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМАНИЯ В УГЛЯХ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА

Е. О. ПОГРЕБИЦКИЙ

В 1956—1957 гг. в Лаборатории геологии угля АН СССР автор принимал участие в обработке материалов по германию в углях Донбасса.

Представляется интересным и полезным опубликовать некоторые из выводов геологического и углехимического порядка, которые вытекают из исследованного материала, тем более, что эти вопросы в литературе освещены очень мало.

Около 25 лет тому назад вопросом распределения германия в углях Донбасса занимался В. А. Зильберминц. Опубликованные им работы считаются в отечественной литературе основными по этому вопросу и широко цитируются как у нас, так и за рубежом при соответствующих исследованиях. Материалы, которые были в нашем распоряжении, позволяют пополнить, уточнить и частью видоизменить выводы В. А. Зильберминца.

В нашем распоряжении были полуколичественные спектральные анализы зол средних пластовых проб углей почти по всем районам эксплуатируемой или так называемой открытой части бассейна. Пробы углей отбирались по шахтам и некоторым скважинам геологами трестов Луганскуглегеология, Артемуглегеология и Ростовуглегеология. Озоление проб и их анализы проведены, главным, образом, в Львовской, Днепропетровской и Киевской лабораториях Министерства геологии и охраны недр СССР и частью в Ленинградской лаборатории Министерства угольной промышленности. Перекрестный внешний контроль показывает достаточную сходимость результатов анализов. Впрочем, для целей нашей статьи точность анализов не играет решающей роли. Важно выделять угли повышенной германиеносности, имея в виду выяснение геологических и углехимических закономерностей концентрации германия. Граница повышенной германиеносности при этом принимается условно на известном (выше среднего) уровне содержания германия в золе. Важно только, чтобы этот уровень был выдержан при оценке германиеносности всех проб. Так как угли открытой части бассейна опробованы относительно равномерно, степень германиеносности угля оценивается числом проб с повышенным содержанием германия по отношению к общему числу проб, выраженному в процентах. Этот показатель можно назвать частотой проб.

1. Закономерности распределения германия в углях по районам Донбасса

Уже первые исследования углей Донбасса в 1933 г. [1, 2, 3] показали известную территориальную зональность бассейна в распределении германия. Было установлено, что повышенные содержания германия на золу углей относятся главным образом к северной и южной окраинам Донбасса.

Наши данные полностью подтверждают это основное положение и выявляют ряд новых небезынтересных деталей в распределении германия в углях по площади бассейна.

Как видно из табл. 1 и прилагаемой схемы, в пределах разрабатываемой части бассейна выделяются 4 зоны по содержанию германия в золе углей: 1) северо-западная, 2) южная, 3) центральная, 4) восточная.

К северо-западной зоне относятся районы Лисичанский, Марьевский и Родаковский. Пробы с повышенным содержанием германия составляют здесь свыше 40% от общего числа проб.

Таблица 1

Район	Число проб	В том числе с повышенным содержанием германия в золе	Отношение числа проб с повышенным содержанием германия к общему числу проб, %
Лисичанский	108	68	63
Родаковский	90	42	46
Марьевский	130	59	45
Красноармейский	64	17	27
Алмазный	205	53	25
Сталинский	376	77	21
Успенско-Белянский	55	12	21
Центральный	570	25	5
Селезневский	55	2	4
Краснодонский	86	0	—
Бело-Калитвенский	60	0	—
Восточные антрацитовые районы (Чистяковский, Боковский, Должанский, Шахтинский и др.)	571	5	1
	2740	360	15

Примечание. Районы расположены по степени убывания частоты проб с повышенным содержанием германия.

Угли южной зоны — Красноармейский и Сталинский районы — дают около 21—27% проб с повышенным содержанием германия. Это почти в два раза меньше, чем в углях северо-западной зоны. Интересно, что периферические районы северо-западной зоны (Алмазный и Успенско-Белянский) имеют примерно ту же относительную частоту проб с повышенным содержанием германия.

Центральная зона — западная часть главного антиклинала и Селезневская котловина — по относительному числу проб с повышенным содержанием германия резко уступает предыдущим районам. Здесь число проб с повышенным содержанием германия в среднем около 5%.

В восточной зоне встречаются только единичные пробы с повышенным содержанием германия в золе углей.

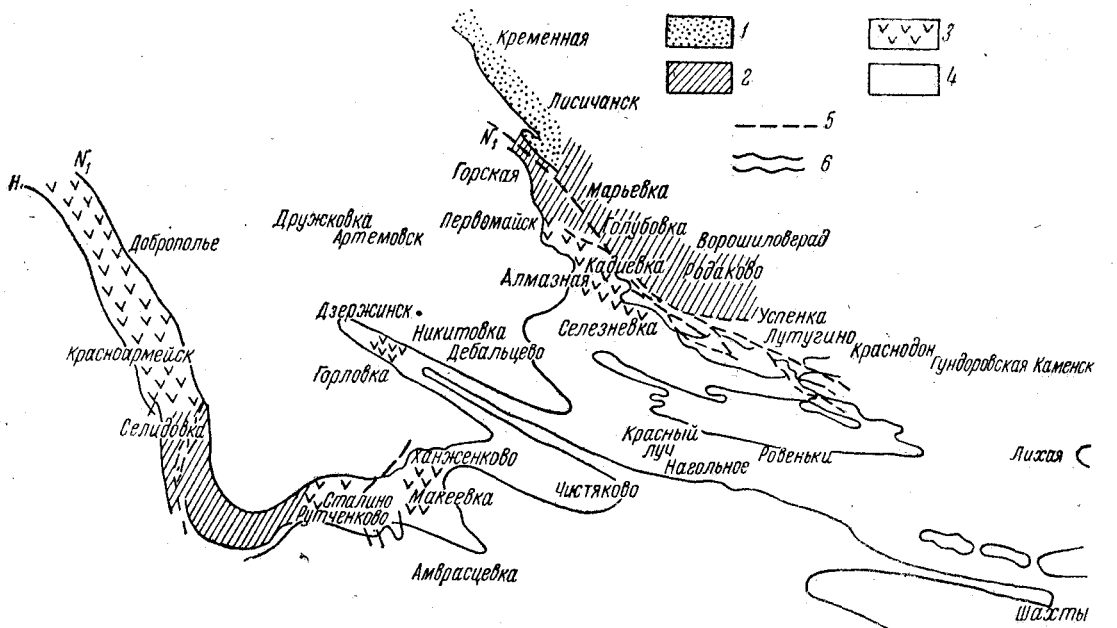


Схема зонального распределения германия в углях Донбасса. Частота встречи повышенных содержаний германия в золе угольных пластов.

1 — 80%; *2* — 50 — 70%; *3* — 20 — 50%; *4* — единичные пробы; *5* — дизъюнктивные нарушения; *6* — выходы границ угленосных отложений среднего карбона $N_1 - H_1$

Зональность бассейна по концентрации германия проявляется не только в относительной частоте проб с повышенным содержанием германия. В золе углей из всех проб, взятых в северо-западной и южной зонах, как и в углях Алмазного и Успенско-Белянского районов, обнаружен германий, в то время как в 20% проб центральной зоны анализ показывает лишь следы германия или вообще отсутствие его. В Восточной зоне соответственная цифра достигает 50%.

Более детальное изучение распределения германия показывает, что в пределах указанных крупных зон и районов, обогащенных германием, в свою очередь, могут быть выделены площади с большей и меньшей его концентрацией. Такие площади охватывают несколько смежных шахтных полей, иногда одно поле или даже часть его. Это зоны концентрации германия второго порядка.

Поскольку опробование, результатами которого мы пользуемся, производилось без учета такой зональности, контуры зон второго порядка в большинстве случаев в настоящее время не могут быть установлены достаточно точно. Наметим некоторые из таких зон и на конкретных примерах покажем характер этих деталей в распределении содержания германия в углях по районам бассейна, поскольку детали могут дать существенный материал для выяснения общих закономерностей распределения.

В Лисичанском районе, например, можно выделить 3 площади распределения германия (табл. 2).

Таблица 2

Площадь	Число проб	В том числе с повышенным содержанием германия	Отношение числа проб с повышенным содержанием германия к общему числу проб, %
Северная	25	19	76
Центральная	30	23	72
Южная	53	26	50
	108	68	63

На самом южном поле района из 26 проб 17 оказалось с повышенным содержанием. Если внести поправку за эти результаты в характеристику южной площади района, то относительная частота проб с повышенным содержанием германия будет здесь только 33%, что более чем в два раза меньше соответствующего показателя по более северным площадям.

Яркий пример зональности второго порядка дает распределение германия в пределах Первомайского купола северной части Алмазного района. При средней частоте проб с повышенным содержанием в 23% на северном крыле из 21 пробы ни одна не дала повышенного содержания, а на южном крыле и в сводовой части структуры из 56 проб 19 (т. е. 34%) оказались с повышенным содержанием германия.

Интересна во многих отношениях зональность второго порядка в Центральном районе, где можно выделить 3 площади (табл. 3).

Наиболее часто пробы с повышенным содержанием германия встречаются по северной окраине бассейна. Как видно из приведенных данных, относительная частота проб с повышенным содержанием германия снижается с севера на юг от северной площади Лисичанского района через Марьевский и Алмазный до Селезневского с 76 до 4%. Зональ-

Таблица 3

Площадь	Число проб	В том числе с повышенным содержанием германия	Отношение числа проб с повышенным содержанием германия к общему числу проб, %
Восточная	152	0	—
Центральная	227	22	10
Западная	161	3	<2
	540	25	5

ность второго порядка нарушает общую картину. В скважинах к северу от Лисичанского района повышенные содержания германия в керновых пробах углей единичны. В Ворошиловградском угленосном районе, который лежит к северу от Родаковского и Успенско-Белянского, частота проб с повышенным содержанием германия существенно ниже, чем в последних. Следовательно, зоны с повышенным содержанием германия представляют собой площади с замкнутыми контурами. Они, в свою очередь, распадаются на зоны второго порядка, представляющие также замкнутые площади в пределах зон первого порядка.

Уточняя вывод В. А. Зильберминца [1] о том, что зоны повышенной германиеносности занимают окраины Донбасса, необходимо отметить: Сталино-Макеевский и Красноармейский районы лежат действительно на юго-западной границе бассейна, тогда как Лисичанский, Марьевский и Родаковский районы лежат, как это теперь установлено разведками, на 40—60 *км* южнее действительной северной границы распространения угленосных отложений среднего карбона и, следовательно, эти районы могут не быть отнесены к северной окраине Донбасса.

2. Закономерности распределения германия по пластам угля

Сопоставляя данные опробования на германий углей из одних и тех же пластов на одних и тех же шахтах Донбасса в 1933 и 1935 гг., В. А. Зильберминц сделал вывод, что повышенные содержания германия по некоторым пластам сохраняются на известном относительно небольшом расстоянии. Этот вывод, имеющий большое теоретическое и практическое значение, может быть существенно развит и детализирован на основании изученных нами новых материалов. В табл. 4 показана относительная частота проб с повышенным содержанием германия по отдельным пластам районов северной зоны бассейна.

Хотя по пластам, приведенным в табл. 4, необходимо дополнительное опробование, имеющиеся данные позволяют сделать ряд выводов о закономерностях распределения германия по пластам. Заключение же по пластам с единичными пробами еще не может быть надежным, поэтому в таблице эти пласты не показаны. В соответствии с данными табл. 4 могут быть выделены пласты, уголь которых имеет относительно устойчивую характеристику германиеносности, пласты с повышенной и пониженной германиеносностью. Некоторые пласты сохраняют степень германиеносности угля в пределах ряда районов, другие лишь в пределах одного района и может быть части его. В Сталинском районе (западная часть), например, из 9 проб по пласту l_3 8 дали повышенную германиеносность, в Красноармейском из 7 проб ни одна не дала повышенного содержания. Уголь пластов l_3 и k_8, имеющий повышенную германиеносность, в Лисичанском и соседних районах относится к углям

Таблица 4

Индекс пласта	Число проб	В том числе с повышенным содержанием германия	Отношение числа проб с повышенным содержанием германия к общему числу проб, %	Германиеносность
		Лисичанский район		
l_8	13	11	84	Повышенная
k_8	28	20	71	
l_4	10	1	10	Пониженная
l_1	12	2	15	
		Марьевский район		
$l_8^в + l_8^н$	20	10	50	Повышенная
k_8	19	1	5	
l_8	8	0	0	Пониженная
l_1	8	0	0	
		Родаковский район		
l_1	13	9	69	Повышенная
l_2	14	9	64	
k_8	9	2	22	Пониженная
		Алмазный район (северная часть)		
$l_8^в + l_8^н$	17	9	52	Повышенная
l_3	14	7	50	
l_4	7	0	0	Пониженная
l_1	5	0	0	

с отчетливо выраженной пониженной германиеносностью. Все отмеченное для пластов углей с повышенной германиеносностью (табл. 4) можно отнести и к углям с пониженной германиеносностью (например, углям пластов l_4 и l_1).

Определенная степень германиеносности угля того или иного пласта иногда сохраняется лишь в пределах части района на ограниченной площади. В этом отношении интересно проследить изменение германиеносности угля пласта k_8 в Лисичанском и Сталинском районах. С северной и центральной частях Лисичанского района исследовались 13 проб этого пласта; 11 из них (84%) дали повышенное содержание. В южной же части только 9 (60%) из 15 проб дали повышенные содержания. При сравнении этих данных с приведенными выше видно, что и в северной части района и на южной площади уголь пласта k_8 имеет более высокую степень германиеносности, нежели средняя по всем пластам, но степень германиеносности угля из этого пласта изменяется соответственно с зональностью второго порядка в распределении германия по району.

В западной части Сталинского района из 16 проб 6 показали повышенное содержание германия, что представляет как будто относительно высокую степень германиеносности угля этого пласта по району. Однако 5 проб с повышенным содержанием германия относятся к одному шахтному полю (5 проб из 5 дали повышенное содержание) и, таким образом, уголь пласта k_8 в целом по району относится к категории углей с пониженной германиеносностью.

Следовательно, зональное распределение германия в углях Донбасса в известной мере подобно распределению в них серы. Еще в 1933 г. была отмечена зональность в распределении серы в углях Донбасса и приуро-

ченность повышенной и пониженной сернистости к определенным пластам углей [4]. Дальнейшими работами при составлении геолого-химической карты бассейна эти закономерности были подтверждены [6,7]. В настоящее время общепризнана связь распределения серы в углях бассейна с особенностями фациальных условий угленакопления и первоначальной стадии образования угля. Мы далеки от утверждения генетической связи германия и серы в углях Донбасса, но парагенезис их представляется возможным. Распределение германия в углях Донбасса так же, как и распределение серы, по-видимому, контролируется фациальными условиями их накопления и первых стадий образования. Как отмечено ниже, часто одни и те же условия оказывались благоприятными для накопления серы и германия.

3. Распределение германия по разрезу пласта угля

Некоторые исследователи указывали на неравномерное распределение германия по разрезу пласта угля [11, 12, 13]. Отмечалось, например, что наиболее обогащенные германием пачки угля лежат главным образом вблизи почвы и кровли пласта. Мы располагаем результатами анализов средних пластовых проб и поэтому этот вопрос не может быть освещен для углей Донбасса. Лишь по пласту k_8 в Лисичанском районе имеется несколько проб, взятых секционно по отдельным пачкам, составляющим разрез пласта. Таким способом было опробовано 19 сечений пласта примерно на простирании 20 *км* (табл. 5).

Из табл. 5 (опробованные разрезы пласта расположены по простиранию с севера на юг) очевидна приуроченность более высоких концентраций к нижним пачкам пласта. Повышенные содержания в пачке, прилегающей к кровле, встречены в 7 из 19 опробованных сечений. К сожалению, секционное опробование в данном случае было проведено слишком грубо: брались пачки угля мощностью 0,25—0,60 *м*. Интересно было бы опробовать достаточное число сечений пласта с мощностью секции в несколько миллиметров, проводя раздел секций по петрографическим разностям угля. Отметим, что распределение германия по пластам угля не зависит от вмещающих угольный пласт пород кровли и почвы пласта.

4. Стратиграфический, тектонический и метаморфический контроль распределения германия

Стратиграфическая закономерность распределения германия в углях бассейна сказывается прежде всего в отмеченной выше приуроченности известной степени германиеносности к углям некоторых пластов, а в пластах — к определенным пачкам. Эта закономерность, очевидно, может означать только то, что в определенные промежутки времени в истории развития бассейна на локально ограниченных площадях существовали условия, наиболее благоприятные для обогащения углей германием. По-видимому, такую стратиграфическую закономерность следует рассматривать в самой тесной связи с литолого-фациальными закономерностями. Очевидно, комплекс этих закономерностей предполагает отложение германия в углях сингенетично с угленакоплением и образованием угольных пластов. При этом, разумеется, проявления тектонического контроля могут иметь лишь второстепенное значение, если они вовсе не отсутствуют.

Между тем, В. А. Зильберминц, А. К. Русанов и В. М. Кострикин, объясняя причины распределения повышенных содержаний германия по южной и северной окраинам бассейна, сослались и на особенность тек-

Таблица 5

Разрез угольного пласта			Содержание германия
номер пачки	мощность, м	порода	
	I		
1	0,30	Уголь	—
2	0,05	Аргиллит	0
3	0,45	Уголь	—
4	0,50	Уголь	+
	II		
1	0,25	Уголь	—
2	0,06	Аргиллит	0
3	0,50	Уголь	—
4	0,50	Уголь	+
	III		
1	0,60	Уголь	—
2	0,50	Уголь	+
	IV		
1	0,30	Уголь	—
2	0,10	Аргиллит	0
3	0,35	Уголь	—
4	0,45	Уголь	+
	V		
1	1,10	Уголь	+
	VI		
1	0,30	Уголь	—
2	0,10	Аргиллит	0
3	0,50	Уголь	—
4	0,40	Уголь	+
	VII		
1	0,20	Уголь	+
2	0,05	Аргиллит	0
3	0,25	Уголь	—
4	0,10	Аргиллит	0
5	0,35	Уголь	—
6	0,45	Уголь	+
	VIII		
1	0,25	Уголь	+
2	0,03	Аргиллит	0
3	0,25	Уголь	—
4	0,10	Аргиллит	0
5	0,40	Уголь	+
6	0,40	Уголь	+
	IX		
1	0,25	Уголь	+
2	0,05	Аргиллит	0
3	0,25	Уголь	—
4	0,15	Аргиллит	0
5	0,35	Уголь	—
6	0,45	Уголь	+

Разрез угольного пласта			Содержание германия
номер пачки	мощность, м	порода	
	X		
1	0,25	Уголь	—
2	0,30	Уголь	—
3	2,40	Аргиллит	0
4	0,35	Уголь	+
5	0,40	Уголь	+
	XI		
1	0,25	Уголь	+
2	0,35	Уголь	+
3	2,60	Аргиллит	0
4	0,30	Уголь	—
5	0,40	Уголь	+
	XII		
1	0,35	Уголь	—
2	0,15	Аргиллит	0
3	0,30	Уголь	—
4	0,45	Уголь	+
	XIII		
1	0,25	Уголь	—
2	0,15	Аргиллит	0
3	0,25	Уголь	—
4	0,30	Уголь	—
5	0,35	Уголь	+
	XIV		
1	0,30	Уголь	—
2	0,15	Аргиллит	0
3	0,25	Уголь	—
4	0,30	Уголь	—
5	0,40	Уголь	+
	XV		
1	0,25	Уголь	+
2	0,30	Аргиллит	0
3	0,45	Уголь	—
4	0,40	Уголь	+
	XVI		
1	0,25	Уголь	+
2	0,20	Аргиллит	0
3	0,45	Уголь	+
4	0,35	Уголь	+
	XVII		
1	0,45	Уголь	—
2	0,40	Уголь	+
3	0,40	Уголь	+
	XVIII		
1	0,30	Уголь	—
2	0,35	Уголь	—
	XIX		
1	0,40	Уголь	+
2	0,48	Уголь	—
3	0,48	Уголь	+

Примечание. + повышенные содержания, — пониженные содержания.

тонического строения этих районов, которые представляют собой зоны мелкой складчатости бассейна, в то время как центральная его часть представлена крупными складками [1, 2, 3]. Правда, эта связь не рассматривается ими более подробно и остается неясным, в чем они увидели здесь причинную зависимость. О связи с дизъюнктивной тектоникой в указанных работах не упоминается.

Однако на схеме распределения содержания германия по Донбассу можно обнаружить тяготение районов с повышенным содержанием германия не только к зонам мелких складок, но и к зонам крупных дизъюнктивных тектонических структур. На северной окраине бассейна площади с повышенным содержанием германия тяготеют к Северо-Донецкому, Марьевскому и Алмазному надвигам, на юге в Сталинском районе — к Французскому надвигу. Между тем попытки таких или им подобных сопоставлений, по-видимому, несостоятельны, так как, во-первых, таким заключениям противоречит приуроченность повышенных и пониженных содержаний германия к определенным пластам угля. Как указано выше, уголь пласта k_8 в Лисичанском районе имеет повышенную германиеносность, а в Марьевском пониженную, хотя тектоническая позиция его по отношению как к складчатым, так и к дизъюнктивным структурам в обоих районах аналогична.

Внимательное и детальное рассмотрение показывает, что нет заметных изменений в характере германиеносности углей в пределах различных элементов одной и той же структуры или в одинаковых элементах различных структур. Наиболее богаты германием угли в пределах Лисичанского антиклинала, но южнее Первомайский антиклинал менее германиеносен, чем Голубовская котловина.

Не может быть увязано распределение зон обогащения второго порядка и с деталями тектонических структур.

В непосредственной близости от поверхностей крупных дизъюнктивных нарушений и их апофиз не наблюдается увеличения или уменьшения частоты проб как с повышенным, так и с пониженным содержанием германия.

Напрашивается вывод, что закономерных связей между тектоникой и распределением германия в углях в Донбассе не устанавливается. Распределение германия произошло до образования тектонических структур бассейна.

При беглом рассмотрении результатов анализов связь степени метаморфизма угля с распределением германия представляется как будто очевидной. Из 360 проб угля по бассейну, показавших повышенное содержание германия, на антрациты приходится лишь 5 проб. Число проб с повышенным содержанием германия закономерно снижается от углей марки Д к антрацитовым. Так как степень опробованности всех марок углей в общем одинакова, это уменьшение показывает также и уменьшение частоты проб с повышенным содержанием германия. К тому же в остальных пробах углей марки Д обнаружено известное, хотя и пониженное содержание германия и вовсе нет проб, где бы германий не был обнаружен. В то же время в более метаморфизованных углях не только снижается число проб с повышенным содержанием, но и резко возрастает число проб с минимальными содержаниями германия, а в углях марок ПС, Т и А появляется много проб, в которых обнаружены лишь следы германия или он вовсе не обнаружен. Но при ближайшем рассмотрении вопроса возникает ряд недоумений и сомнений в отношении указанной связи. Можно отметить ряд случаев, когда на соседних и территориально близких площадях, в углях более метаморфизо-

ванных повышенные содержания германия встречаются чаще, чем в углях менее метаморфизованных. Так, например, в западной части и по южному крылу Родаковской котловины в углях марки Г пробы с повышенным содержанием германия встречаются чаще, чем в восточной и северо-восточной частях, хотя угли здесь переходные от Г к Д. То же относится к Горловскому, Дзержинскому участкам в Центральном районе, хотя на площадях, прилегающих к Горловке, угли принадлежат марке ПЖ, а на замыкании антиклинала (Дзержинские участки) к марке Г, на Горловке пробы с повышенным содержанием германия встречаются чаще. В Алмазном районе пробы с повышенным содержанием германия чаще встречаются на участках Максимовских, чем Ирминских, хотя угли на первых — марок ПЖ и Д, а на последних — Г и ПЖ. Угли на замыкании Первомайского антиклинала содержат германия больше, чем угли на Сокологоровских участках, хотя на последних развиты угли марки Г, а на первых ПЖ и Г. В углях Макеевской котловины повышенные содержания германия встречаются чаще, чем в районе г. Сталино, хотя последние менее метаморфизованы.

Интересно, что угли на северо-западных площадях закрытого Донбасса, относящиеся к переходным от каменных марки Д к бурым, более бедны германием, чем угли марки Д Лисичанского, Марьевского и Родаковского районов. В то же время наименее метаморфизованные угли Лисичанского района на Кременской площади дают наиболее устойчивое повышенное содержание германия в открытой части бассейна. С другой стороны, визейские угли марок Г и ПЖ в юго-западной части бассейна более богаты германием, чем менее метаморфизованные угли среднего карбона на тех же площадях, а также в Красноармейском районе. Приведенные примеры указывают по меньшей мере на то, что прямой связи между метаморфизмом угля и содержанием в нем германия нет. Связь существует только внешняя, не причинная. Как известно, в Донбассе угли различной степени метаморфизма распределены закономерно зонально: центральную и юго-восточную части бассейна занимают антрациты; периферическую западную и северную зоны — длиннопламенные и газовые угли. Германиеносность углей определяется также положением их в той или иной зоне бассейна. Наиболее обогащены германием юго-западная и северо-западная части бассейна, где наиболее богатые германием угли занимают отчетливо ограниченные территории. В пределах этих полос замечаются еще местные, локальные колебания германиеносности, отмечаемые и в других частях бассейна, но на общем более бедном фоне содержания германия.

Общее распределение германия в бассейне и частые локальные колебания его содержания генетически и парагенетически не связаны с процессами метаморфизма. По литературным данным, связь между степенью метаморфизма углей и их германиеносностью не устанавливается и в отношении углей многих других бассейнов, районов и месторождений [5, 8, 9, 10, 11].

Следовательно, в углях ряда месторождений, как и в Донбассе, существует территориальная закономерность распределения германия независимо от степени метаморфизма углей.

5. Зависимость содержания германия от петрографического состава углей

О зависимости содержания германия от петрографического состава углей в литературе наиболее определенно высказались Дж. Гоулей [12], В. М. Ратынский [5], М. Отте [10]. Дж. Гоулей не устанавливает связи между петрографическими ингредиентами и содержанием германия в уг-

лях из Новой Шотландии. К сожалению, его вывод основан лишь на ограниченном числе проб по двум угольным пластам.

В. М. Ратынский доказывает связь повышенных содержаний германия с витреном на основании изучения 108 проб углей Хумаринского месторождения. Пробы были разбиты на классы по содержанию германия следующим образом: I класс — 27 проб, II — 36 проб, III — 17 проб, IV — 17 проб, V — 8 проб и VI — 3 пробы. Доказательство концентрации германия в витрене основывается на том, что из 11 проб классов V—VI в 10 пробах уголь представлен или чистым витреном (6 проб), или кларено-витреном с большим содержанием витрена, и только одна проба представлена «кларено-витреном с тонкими прослойками глинистого сланца и отложениями солей» [5]. Ни одна из проб, более низких по содержанию германия классов (от I до IV включительно), не представлена витреном.

Однако очевидность доказательств основного положения В. М. Ратынского теряется вследствие некоторых недостатков приведенных в работе материалов: 1) неопределенность характеристик и проб по петрографическому составу углей; 2) отсутствие данных по мощностям проб; 3) отсутствие данных по среднему содержанию германия в каждом сечении пласта угля и др.

В. М. Ратынский при опробовании выделил следующие петрографические разности углей: а) «кларено-витрен с тонкими прослоями глинистого сланца и отложениями солей»; б) «кларено-витрен чистый»; в) «кларено-витрен с преобладанием витрена»; г) «витрен». Без количественной характеристики каждой из этих разностей определенный характер имеет только последняя разность, представленная витреном. Произвольность и грубость такого подразделения находит свое отражение в том, что из 108 проб на разность «а» падает 95 проб, на разность «б» 3 пробы, на разность «в» 4 пробы и на разность «г» 6 проб. Таким образом, основная масса проб представлена одной и той же разновидностью. Из 95 проб этой разновидности 31 проба (около 33%) дает повышенное содержание германия, так как относится к III и IV классам.

Данные о мощностях секции пласта для каждой пробы и о средних содержаниях германия по пластовым пробам могли бы являться известным контролем в отношении распределения германия в соответствии с петрографическим составом углей. Отсутствие таких данных нарушает представительность материалов, на которых базирует свой вывод В. М. Ратынский.

В пользу зависимости содержания германия в углях от петрографического состава, по крайней мере о более высоком содержании германия в витренах по сравнению с фюзенами, высказались и другие авторы, например, Т. Стадинченко, Гидли и Хантер Обри [12] и др. Однако Дж. Гоулей замечает, что их выводы не очень определенны.

М. Отте исследовала на содержание элементов спутников (в том числе и германия) ряд проб карбоновых углей Рура и вельдских углей различных месторождений Германии [10]. Уголь, измельченный до < 1 *мм*, подвергался разделению на фракции по удельному весу. Каждая из фракций количественно изучалась по углепетрографическому составу и полуколичественному спектральному определению элементов-спутников. Исходя из основного положения, что наиболее легкие фракции ($< 1{,}3$ и 1,3—1,4) состоят в основном из витрена и кларена и они же имеют максимальные показатели содержания элементов-спутников, М. Отте приходит к выводу о приуроченности элементов-спутников к витрену и кларену. Однако ближайшее рассмотрение исходных материа-

лов М. Отте обнаруживает шаткость ее доказательств. Для большинства проб легких фракций характерен сложный петрографический состав. Так, во фракции 1,3—1,4 и 1,4—1,5 входят в различном и меняющемся процентном соотношении витрен, кларен, дюрен, фюзен и даже углистый сланец. Между тем эти фракции всегда дают повышенные содержания германия. По-видимому, дело здесь не в петрографическом составе, а в характере и количестве золы в различных фракциях.

В. А. Зильберминц также отмечает, что повышенные содержания германия в Донбассе относятся к витреновым и клареновым углям [1]. Это не вносит какой-либо определенности в вопрос о связи содержания германия с петрографическим составом углей, так как подавляющая масса углей Донбасса сложена этими ингредиентами.

Таким образом, вопрос о зависимости германиеносности от петрографического состава углей остается неясным.

Интересно сопоставить данные геолого-химической партии Донбасса [6, стр. 145 и 148] с нашими данными о закономерностях распределения германия по районам и пластам бассейна (табл. 6).

Таблица 6

Индекс пласта	Частота встречи повышенного содержания германия, % к числу проб	Среднее содержание витрена, %	Среднее содержание фюзена, %
	I Лисичанский район		
l_8	84	8	5
k_8	71	11	5
l_4	10	17	1
l_1	15	11	4
	II Алмазно-Марьевский район		
l_8	0	10	3
l_4	0	12	2
l_3	50	13	2
l_1	0	9	3
	III Родаковский район		
l_3	69	6	1
l_2	64	6	2

Следует отметить, что данные по среднему петрографическому составу углей основаны, возможно, на недостаточном количестве изученных сечений. Однако из табл. 6 очевидно, что прямой закономерной связи между германиеносностью угля и его петрографическим составом нет. В противном случае все приведенные в таблице данные придется отнести к исключению из общего правила. К тому же, по данным геолого-химической карты Донбасса, угли Сталино-Макеевского района в общем более богаты витреном, чем Родаковского, Марьевского и Лисичанского районов, в то время как в последних частота проб с повышенным содержанием германия более чем в два раза выше первых. Очевидно, нельзя связывать содержание германия в угле с его петрографическим составом по соотношению ингредиентов. Это обстоятельство вполне объяснимо: одни и те же ингредиенты в угле не представляют собой образований из одного и того же материала в одних и тех же условиях. Углепетрографы устанавливают в углях Донбасса витрен трех видов (А, Б и В). Другие ингредиенты, как фюзен, кларен и дюрен, связываются рядом переходных образований. Разнообразные свойства

углей, по-видимому, более связаны со структурными типами углей (структурно-генетическими, где их можно установить).

С этой точки зрения устанавливается как будто более тесная связь повышенных содержаний германия в Донбассе с углями тонкополосчатой структуры и более низких концентраций с углями толстополосчатой структуры (по крайней мере для отдельных районов). Например, в Лисичанском районе к тонкополосчатым углям можно отнести пласты k_8 и l_8 с устойчивым повышенным содержанием германия в противоположность углю пласта l_4, который относится к толстополосчатым. К тонкополосчатым углям относятся также пласты l_3 и l_2 Родаковского района, где они имеют повышенное содержание германия. Но в Сталино-Макеевском районе к толстополосчатым относятся и пласты l_3, h_7, хотя первый по высокому содержанию германия принадлежит к более устойчивым, а второй дает исключительно низкие содержания. Очевидно, требуется более детальное и тонкое изучение соотношения распределения германия и структурно-генетических типов углей. Изучение проблемы распределения германия в этом отношении, безусловно, имеет большие перспективы, если иметь в виду сингенетичность его образования с пластами угля.

6. Зависимость германиеносности от зональности и состава золы углей Донбасса

Еще В. Гольдшмидт в своих первых работах по германию в ископаемых углях отмечал, что с уменьшением зольности угля содержание германия в нем повышается [8, 9]. Такую обратную зависимость германиеносности и зольности углей подтверждают почти все дальнейшие исследователи: В. А. Зильберминц [1], Дж. Гоулей [12], М. Отте [10] и др. Эта зависимость рассматривается ими как доказательство тесной связи германия с органической массой угля. Минеральная же составляющая угля (зольность) разубоживает германий, переходящий в золу при озолении угля.

В это традиционное представление о связи германиеносности и зольности углей необходимо внести существенные уточнения и поправки. Действительно, в породных прослоях в пластах угля, как и в их почве и кровле, как правило, в Донецком бассейне германий не обнаружен. Естественно поэтому заключить, что так называемая «внешняя зола» углей является только разубоживающим фактором для германия. Однако вопрос выглядит сложнее, если обратиться к «внутренней золе» углей. В данных В. Гольдшмидта и других исследователей нет сведений о пропорциональности в содержании германия и зольности угля, видна лишь общая тенденция увеличения содержания германия с уменьшением зольности угля. Дж. Гоулей приводит данные о содержании германия по фракциям угля [12]. При этом оказывается, что легкая фракция с 9,7% золы содержит 24 части германия на 1 000 000 частей угля, средняя фракция с зольностью 15,1% содержит соответственно 46 частей и тяжелая фракция с зольностью 65% содержит 0 частей германия. Близкие в общем данные опубликованы М. Отте для некоторых углей Рура и ряда вельдских месторождений Германии [10]. По материалам этого исследования, наиболее обогащены элементами-спутниками легкие фракции ($<1{,}3$ и 1,3—1,4) с зольностью 1,1—5,6%.

В отношении Донецкого бассейна в этой связи необходимо отметить, что, хотя Сталино-Макеевский район содержит наименее зольные угли, а Лисичанский и Марьевский наиболее зольные, повышенные

содержания германия в первом районе встречаются в два раза реже, чем во втором.

По данным геолого-химической карты Донбасса в табл. 7 приведена характеристика зольности и химического состава золы пластов k_8 и l_4 Лисичанского района и пласта k_8 Марьевского района. Данные о зольности и составе золы взяты для обогащенных проб, т. е. проб, в которых «внешняя зола» сведена до минимума. Как следует из табл. 7, зольность пласта k_8 Лисичанского района выше, чем пласта l_4 этого района и пласта k_8 соседнего Марьевского района. Повышенные же содержания германия в пласте k_8 Лисичанского района установлены для 71% проб, а в пласте l_4 для 10% проб и в пласте k_8 Марьевского района для 5% всех проб. Таким образом констатируется прямая, а не обратная зависимость между германиеносностью и зольностью угля. Такая же зависимость выявляется и для общей сернистости углей и их германиеносности. Менее отчетливо обнаруживается связь германиеносности с составом золы. Угли с более устойчивой высокой германиеносностью отличаются

Таблица 7

Индекс пласта	Ас	So	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Прочие	$\frac{SiO_2+Al_2O_3}{Fe_2O_3+CaO+MgO}$	Германиеносность
					Лисичанский район					
k_8	10,0	5,0	38,9	15,9	30,1	7,4	0,8	6,8	1,7	Наиболее высокая
	15,6	5,8	39,1	18,8	29,9	3,8	1,2	7,2	1,7	
	7,4	4,7	31,2	18,6	39,2	4,6	0,7	5,6	1,1	
	11,3	5,5	35,3	16,8	35,7	5,8	0,3	6,1	1,2	
	7,4	5,7	25,9	22,2	46,1	2,7	0,5	2,5	0,9	
	11,3	4,6	35,6	23,3	25,4	9,3	5,2	5,2	1,4	Пониженная
	13,4	4,7	44,5	22,9	26,3	0,8	1,0	4,5	2,4	
Среднее	11,0	5,1	35,8	19,8	33,2	5,0	1,4	5,4	1,5	
l_4	7,9	1,7	55,0	11,5	11,0	10,9	0,9	10,6	2,7	Пониженная
	6,8	3,8	33,6	9,4	34,5	9,4	0,7	12,2	1,0	
	4,2	2,6	21,6	13,3	59,4	2,9	0,7	2,1	0,5	
	8,7	3,2	19,5	10,2	23,1	27,2	2,1	17,8	0,6	
	10,4	3,5	16,1	11,7	23,5	23,4	1,6	23,7	0,5	
Среднее	7,6	2,9	29,1	13,2	30,3	14,7	1,2	13,3	1,0	
					Марьевский район					
k_8	9,1	2,2	39,1	24,8	17,3	5,5	2,9	10,3	2,4	Пониженная
	8,2	4,1	48,3	30,1	18,7	1,7	1,1	6.1	3,6	
	5,6	4,0	42,4	27,4	21,8	3,1	1,3	4,0	2,7	
	4,7	4,3	28,1	21,8	34,8	8,5	1,4	5,6	1,2	
	6,5	4,7	41,1	25,6	26,4	2,1	1,1	3,7	2,2	
	6,4	4,2	13,0	9,6	29,9	28,8	7,9	16,8	0,3	
	5,2	3,1	38,3	25,8	26,9	4,3	1,4	3,4	2,0	
	6,4	4,1	23,3	14,4	44,7	7,6	1,7	8,3	0,7	
	8,7	5,7	17,0	9,3	62,3	3,1	1,2	7,2	0,4	
Среднее	6,7	4,0	32,3	21,0	30,7	7,3	2,2	7,2	1,7	

несколько более повышенным содержанием Fe_2O_3 в составе золы и более низким средним содержанием CaO. Эта закономерность отчетливо видна из табл. 8, где дается характеристика зольности и состава золы пласта l_3 в двух рядом лежащих зонах второго порядка в Алмазном районе бассейна.

Авторы геолого-химической карты Донбасса относят угли с повышенной «внутренней» зольностью, повышенной сернистостью и с преобладанием в составе золы окислов $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ ко второму типу углей бассейна по зольности. Этот тип отвечает группе более восстановленных углей по составу и свойствам органической массы угля.

Данных табл. 7 и 8, конечно, недостаточно для обоснования выводов о зависимости германиеносности от определенного типа угля по зольности и составу и свойствам органической массы угля. Однако их вполне достаточно для обоснования необходимости серьезной исследовательской работы по увязке германиеносности, характера зольности и состава золы углей.

Таблица 8

Индекс пласта	Ас	So	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Прочие	$\frac{SiO_2+Al_2O_3}{Fe_2O_3+CaO+MgO}$	Примечание
l_3	8,8	2,8	17,5	12,7	18,5	30,7	1,1	19,5	0,7	Голубовская котловина, более низкие содержания германия
	4,4	1,3	28,2	13,0	15,7	24,9	0,7	17,5	1,0	
	2,7	1,1	40,9	29,2	24,4	4,1	0,4	0,9	2,5	
	4,2	1,0	40,3	27,5	13,2	12,4	0,8	5,7	2,5	
	2,6	0,9	36,6	23,2	8,6	17,4	0,7	13,5	2,5	
	3,1	1,1	46,6	26,5	13,1	8,9	0,8	4,0	3,3	
Среднее	4,1	1,3	35,0	23,7	15,7	16,4	0,7	10,1	2,1	
l_3	5,7	3,5	28,4	16,7	47,9	4,3	0,5	2,2	0,8	Первомайский антиклинал, более высокие содержания германия
	6,3	3,5	19,1	13,4	51,3	13,4	0,5	2,3	0,5	
	5,2	3,4	18,7	11,5	63,9	4,5	0,5	0,9	0,4	
	5,0	3,5	22,8	13,9	56,7	0,6	0,2	5,7	0,6	
Среднее	5,6	3,5	22,2	13,8	54,9	5,5	0,4	3,0	0,6	

Уместно остановиться еще на других элементах-примесях в золе углей Донбасса.

В золе всех проб установлено наличие никеля, кобальта, молибдена. Обычно содержание никеля на золу колеблется в пределах 0,005—0,01%, кобальта и молибдена около 0,001—0,005%. Во многих пробах обнаружен цинк в пределах 0,05—0,01%, свинец 0,05—0,1%, мышьяк 0,05—0,01%, ванадий около 0,01%, галий 0,01%, цирконий, итрий, скандий, бериллий, серебро встречаются в единичных пробах. В табл. 9 приведено содержание некоторых из этих элементов в пробах углей, богатых германием. В золе углей, более богатых германием, содержание никеля, кобальта и молибдена в десять-двадцать раз выше, чем в обычных пробах. В таких «богатых» золах, как правило, также выше содержание ванадия, цинка, мышьяка и появляется сурьма. В них часто обнаруживается серебро, бериллий, итрий, скандий, цирконий, и другие редкие элементы. Содержание галия как будто не связано с колебаниями содержания германия

Таблица 9

Номер пробы	Содержание, % на золу									
	Ni	Co	Mn	Zn	As	Sb	Pb	Ag	Be	J
1	0,2	0,05	0,03	Следы	—	0, 03	—	—	—	—
2	0,05	0,03	0,02	0,05	0,1	0,03	—	0,01	—	—
3	0,1	0,03	0,03	0,05	—	0,03	—	—	—	—
4	0,1	0,03	0,03	—	0,05	0,03	—	—	—	—
5	0,2	0,05	0,05	0,3	—	—	—	—	—	—
6	0,2	0,05	0,05	0,3	—	—	—	—	—	—
7	0,02	0,005	0,005	Следы	—	—	—	—	—	—
8	0,1	0,02	0,02	0,05	—	—	—	—	—	—
9	0,3	0,1	0,03	0,3	—	—	0,3	—	—	—
10	0,1	0,03	0,03	0,2	—	—	0,2	—	—	—
11	0,05	0,03	0,02	0,05	—	0,02	—	—	—	—
12	0,05	0,02	0,05	0,1	—	Следы	—	—	—	—
13	0,3	0,02	0,1	0,2	0,05	—	—	—	—	—
Среднее из 9 проб	0,008	0,002	0,002	0,005	—	—	—	—	0,003	0,001
Среднее из 7 проб	0,01	0,002	0,004	0,4	—	—	—	—	0,004	0,009
Среднее из 8 проб	0,02	0,005	0,005	0,5	—	—	—	—	0,007	0,020

Выводы

1. Германий в углях Донбасса сингенетичен их накоплению.

2. Распределение германия контролируется фациальными условиями угленакопления в первой стадии углеобразования.

3. По углепетрографическому типу, характеру зольности, составу золы и по характеру органической массы условия, благоприятные для накопления германия, отвечают условиям накопления и образования некоторых разновидностей углей типа «восстановленных». Эти условия были благоприятны для концентрации германия в растворах и его выпадения.

4. Растворы, обогащенные германием, содержали больше других редких элементов (никель, кобальт, молибден, ванадий, цинк, свинец, мышьяк), а также железо.

5. Представление о весьма изменчивом и незакономерном распределении содержаний германия в углях Донбасса не совсем точно соответствует действительности. Практически в Донбассе путем специального детального опробования могут быть выделены угольные пласты и площади с устойчивым повышенным содержанием германия, промышленно интересные в целях его добычи.

6. При изучении химизма углей и составлении геолого-углехимических карт необходимо обращать внимание на элементы-спутники.

7. Изучение закономерностей распределения элементов-спутников в углях, кроме практического значения, интересно с точки зрения реконструкции условий угленакопления и углеобразования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Зильберминц В. А. и Кострикин В. М. О распространении ванадия в ископаемых углях. Тр. ВИМС, 1936, вып. 87.
2. Зильберминц В. А. Германий в углях Донецкого бассейна. «Мин. сырье», 1936, № 6.

3. Зильберминц В. А., Русанов А. К., Кострикин В. М. Пятидесятилетие научной и педагогической деятельности академика В. И. Вернадского, Изд. АН СССР, 1936.
4. Погребицкий Е. О. Сера в углях Донецкого бассейна. «Проблемы сов. геологии», 1933, № 5.
5. Ратынский В. М. Германий в углях. Тр. биогеохим. лабор. АН СССР, 1946, т. VIII.
6. Геолого-химическая карта Донецкого бассейна, вып. V, 1941.
7. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна, вып. VIII, 1942.
8. Goldschmidt. V. M. Nachr. Ges. Wiss., Göttingen, 1930.
9. Goldschmidt V. M. Chem., Soc. 1937, apr.
10. Otte M. U. Chemie Erde, 1953, B. 16, Jene.
11. De Britto Alb Carlos Estud., notas e träb. serv. fomento mineiro, 1955, № 3—4, № 10.
12. Hawlef J. E. Economic Geol., 1955, v. 50, № 4.
13. Wandless A. M. J. Inst. Fuel, 1957, № 201.