Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIX, вып. 2, 1965 г.

УДК 553.49

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГЕРМАНИЯ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПАРАЛИЧЕСКОГО ТИПА

А. А. Плисов

Закономерности распространения германия и причинные связи оруденения с особенностями формирования торфяника показаны на примере пласта сложного строения. Последний представлен то одним сложным угольным пластом, то расщепленным на два, причем расстояние между ними постепенно увеличивается от 10—15 *см* до 10—12 *м*. Участки с небольшой мощностью межпластья сложены преимущественно аргиллитами и реже алевролитами. На участках с возрастающей мощностью межпластья появляются песчано-алевритовые осадки.

Размеры участков по простиранию пласта с мощностью межпластья более 0,5 *м* достигает 3—5 *км*, реже более. Примерно такая же ширина участков единого сложного пласта (рис. 1).

Суммарная мощность угольных пачек пласта изменяется по площади распространения от 1,2 до 2,3 *м*, в расщепленной части пласта — 0,7—1,8 *м*. Пределы мощности нижней угольной пачки 0,5—1 *м*, верхней 0,4—0,8 *м* (рис. 2).

Пласт сложен полублестящим клареновым углем с прослоями дюрено-клареновых разностей. Состав микрокомпонентов следующий (в %): гелифицированные — 82, фюзенизированные — 12 и липоидные — 6.

По строению гелифицированного вещества и химико-технологическим свойствам, согласно существующей классификации, уголь пласта относится к первому генетическому типу, т. е. к восстановленным. В то же время обе пачки пласта неравноценны: восстановленность нижней пачки более низкая. На площади восстановленность углей нижней угольной пачки также изменяется. На участках, где мощность межпластья более 1 *м* (зоны расщепления), восстановленность угля более высокая, чем в противоположных участках.

По степени метаморфизма уголь пласта является переходным от длиннопламенных к газовым. Он характеризуется следующими средними показателями (% на сухой уголь): зольность — 7,9; выход летучих веществ — 43,6; углерод — 76,1; водород — 5,5; азот плюс кислород — 12,99; сера общая — 4,6. Из минеральных примесей в нем присутствует кварц, полевой шпат, пирит. Пирит встречается в виде мелкой вкрапленности в гелифицированном веществе и в виде обособленных линз и прослоев. Часто пиритом выполнены внутренние полости макроспор и трещин в линзах витрена.

Уголь относится к малозольным с закономерным увеличением зольности от нижней части разреза пласта к верхней. В припочвенной части пласта (мощность 20—30 *см*) зольность 2,5—25%, и малозольные угли здесь находятся в зонах расщепления. Средняя часть разреза характеризуется зольностью 6—30%. Уголь верхней части пласта имеет повышенную зольность (15—27%).

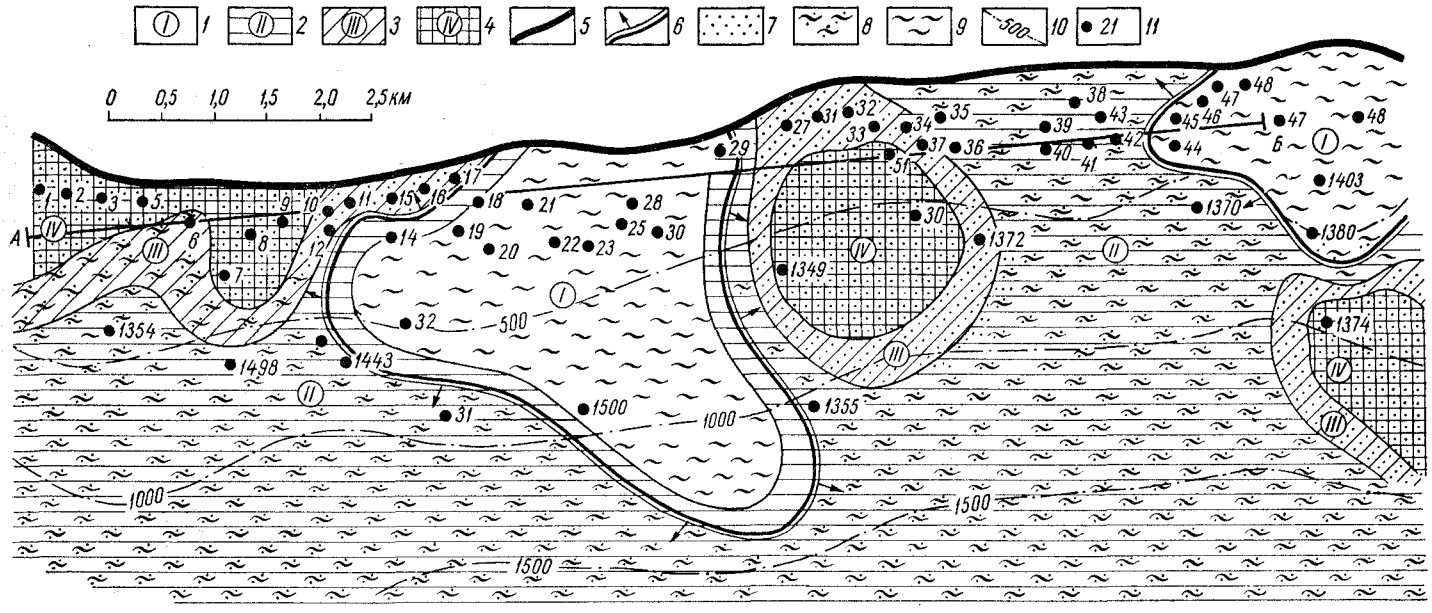


Рис. 1. Схематическая карта распространения германия в угольном пласте.

Участки угольного пласта с содержанием германия (в условн. ед.): *1* — до 1, *2* — до 2, *3* — до 3, *4* — больше 3; *5* — выход угольного пласта под покровные отложения; *6* — направление расщепления и граница участка угольного пласта, с мощностью межпластья 0,5 *м*; *7* — мелкозернистый песчаник в почве угольного пласта; *8* — алевролиты; *9* — аргиллиты; *10* — изогипса пласта и ее отметка; *11* — точка опробования пласта на германий.

Почвой угольного пласта являются аргиллиты, алевролиты и песчаники. Алевролиты и песчаники распространены только в зонах расщепления пласта.

Угольный пласт перекрывается слоем известняка. На отдельных участках между слоем известняка и угольным пластом залегает прослой аргиллита мощностью 10—20 *см*.

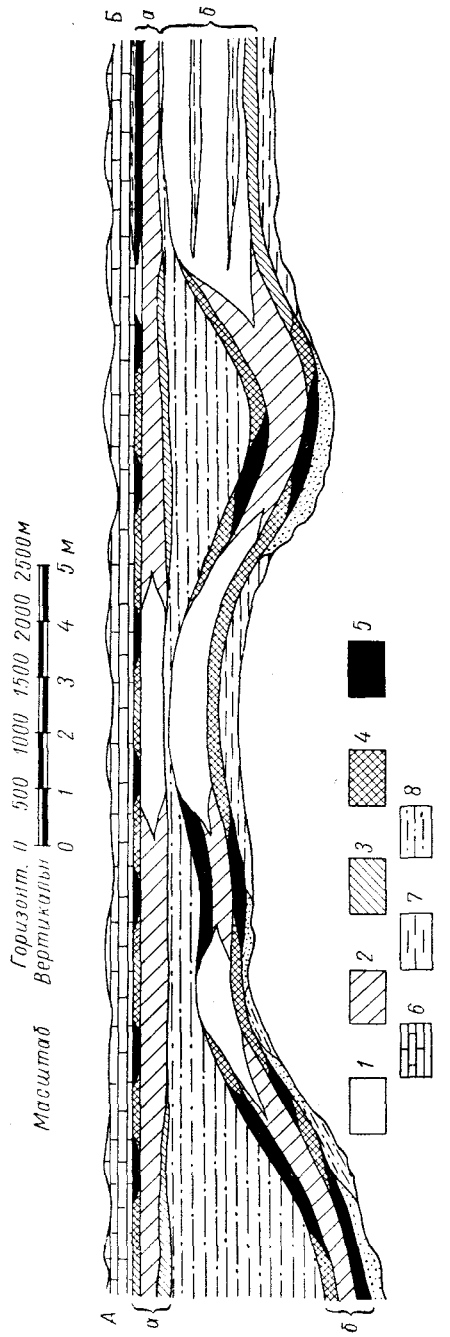


Рис. 2. Схематический геологический разрез угольного пласта по *А — Б* (см. рис. 1): *а* — верхняя угольная пачка пласта; *б* — нижняя пачка пласта.

Участок геологического разреза пласта с содержанием германия (в услови. ед.). *1* — до 1; *2* — от 1 до 10; *3* — от 10 до 15; *4* — от 15 до 25; *5* — больше 25; *6* — известняк; *7* — аргиллит; *8* — алевролит.

Распространение германия в угольном пласте неравномерное. Как видно на рис. 3, высокие концентрации приурочены к нижней и верхней части разреза. Средняя часть его практически негерманиеносна. В зонах расщепления пласта германием обогащены верхняя часть разреза нижней пачки пласта и нижняя — верхней.

Мощность угольных слоев с высоким содержанием германия изменяется от 10—12 до 25—30 *см*. Они выдержаны по площади распространения на больших территориях, поэтому названы нами рудными горизонтами, а в соответствии с их положением в геологическом разрезе пласта или угольной пачки — верхним или нижним (рис. 2 и 3).

Для изучения распространения германия в разрезе рудных горизонтов и связи германиеносности с петрографическим составом угля произведено опробование секционными пробами с длиной секции 0,5—1 *см*. Результаты опробования нижнего рудного горизонта сведены в табл. 1, в которой содержание германия, зольность, петрографический состав * слоя 5, соответствующего слою рудного горизонта с максимальным содержанием германия, приняты условно за единицу, а в других слоях выражены относительно этой единицы.

Как видно из табл. 1, содержание германия закономерно увеличивается в интервале 0—4 *см*, а затем постепенно снижается в интервале 5—10 *см*. При этом зольность угля уменьшается от припочвенных слоев вверх по гео-

* Изучен Е. И. Фокиной.

Таблица 1

Характеристика нижнего рудного горизонта

Интервал опробования от почвы пласта, см	Номер слоя	Зольность	Содержание, условн. отн. ед.				
			германия в угле	германия в золе	гелифицированного вещества	фюзенизированного вещества	липоидных элементов
0—0,5	1	2,2	0,4	0,2	1,0	0,7	1,8
0,5—1,0	2	1,5	0,7	0,4	1,0	1,1	1,4
1,0—2,0	3	1,9	0,6	0,3	1,0	1,2	1,5
2,0—3,0	4	1,0	0,7	0,7	0,9	0,9	1,2
3,0—4,0	5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4,0—5,0	6	1,0	0,4	0,4	1,0	1,0	1,7
5,0—5,5	7	1,2	0,5	0,4	1,0	1,2	0,9
5,5—7,0	8	1,2	0,4	0,4	1,0	1,3	0,7
7,0—8,0	9	1,0	0,2	0,2	0,9	1,5	1,0
8,0—9,0	10	1,0	0,2	0,3	1,0	1,2	1,0
9,0—10,0	11	1,2	0,2	0,3	0,9	1,4	1,6

логическому разрезу рудного горизонта до слоя с максимальным содержанием германия, а затем остается более или менее постоянной. Таким образом, до слоя с максимальным содержанием германия намечается четкая обратная связь концентрации элемента с зольностью, а выше

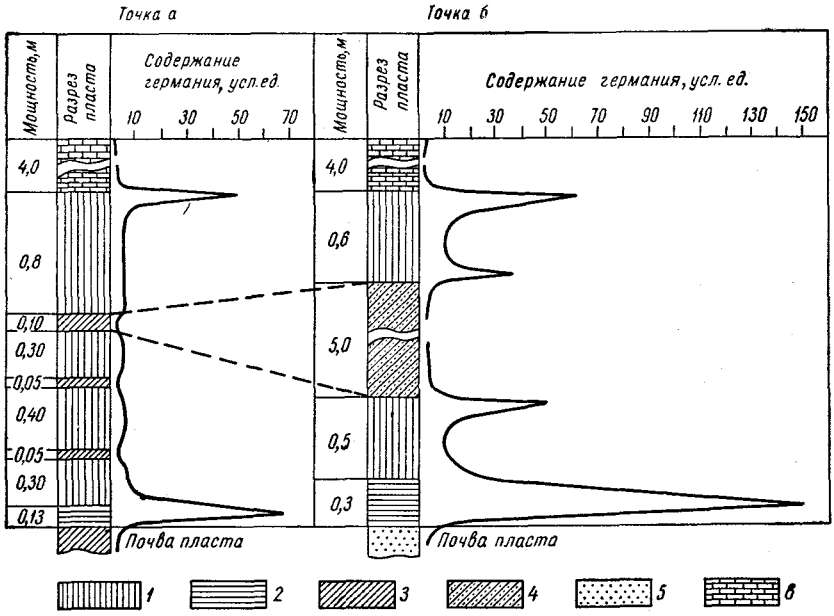


Рис. 3. Графики распространения германия в геологическом разрезе угольного пласта.

1 — ксилено-витреновый дюрено-кларен; *2* — ксилено-витреновый кларен; *3* — аргиллит; *4* — алевролит; *5* — мелкозернистый песчаник; *6* — известняк.

этого слоя связи этих двух параметров не устанавливается. Содержание гелифицированного вещества и липоидных компонентов незначительно уменьшается от припочвенных слоев к верхним слоям разреза горизонта, а содержание фюзенизированных компонентов, наоборот, увеличивается к слою 11, т. е. намечается как будто прямая связь германиеносности с гелифицированными и липоидными компонентами и обратная — с фюзенизированными.

Характер распространения германия в разрезе верхнего рудного горизонта аналогичен распространению в нижнем (рис. 3).

Нижний рудный горизонт выдержан по всей площади развития пласта. Содержание германия в углях увеличивается к зонам расщепления пласта. При этом мощность горизонта возрастает от 10—12 до 30 *см*. В зонах расщепления пласта наиболее высокие концентрации германия в угле рудного горизонта приурочены к участкам, где почвой являются мелкозернистые песчаники (см. рис. 1, 2).

Верхний рудный горизонт также выдержан на всей площади развития пласта, но высокое устойчивое содержание германия приурочено к местам перекрытия угольного пласта аргиллитами или алевролитами.

В участках, где на угольном пласте залегает известняк, изменение содержания германия в рудном горизонте носит линзовидный характер.

В зонах расщепления пласта, где мощность межпластья более 1 *м*, верхняя часть разреза нижней пачки и нижняя часть верхней пачки мощностью по 10 *см* каждая, являются высокогерманиеносными (см. рис. 2). Синхронные им слои в зоне нерасщепленного пласта являются практически негерманиеносными.

Таким образом, по всей мощности пласта участки с высоким содержанием германия чередуются с участками более низких концентраций. Так, содержание германия в зонах расщепления угольного пласта в 2—3 раза выше, чем на участках с межпластьем мощностью менее 1 *м* (рис. 1). При этом в зонах расщепления, где угольный пласт подстилается мелкозернистыми песчаниками, содержание германия в 4—5 раз выше. Эти участки, как правило, сложены малозольным углем (A^c = 3—5%). Средняя зольность участков угольного пласта с пониженным содержанием составляет 8—12%.

Для выявления связи германиеносности пласта с зольностью статистическим методом обработаны результаты анализов 118 проб:

Группа проб по зольности, % на сухой уголь	2<4	4<6	6<8	8<10	10<12	≥12
Число проб в группе	13	26	40	25	6	8
Средняя зольность, %	3,2	5,1	6,7	9,0	11,0	12,7
Среднее содержание германия в угле, условн. ед.	2,0	1,7	1,7	1,6	1,6	1,0

Как видно из этих данных, высокое содержание германия связано с малозольным углем. Коэффициент корреляции между содержанием германия в угле и зольностью, вычисленный по результатам анализов этих проб, равен — 0,6, т. е. связь германиеносности с зольностью более или менее отчетливая, отрицательная.

Аналогичной обработке были подвергнуты результаты анализов 800 проб, отобранных с рудных горизонтов трех угольных пластов. Результаты приведены на рис. 4. Концентрация германия в углях подчинена следующей зависимости:

Номер пласта	1	2	3
Предел зольности углей, %	2,5—15	2,5—30	5—15
Предел зольности с которым связаны максимальные концентрации германия, %:			
в золе	4—7	5—15	8—15
в угле	8—15	8—15	8—15

Такая связь германиеносности угольных пластов с зольностью углей имеет генетический смысл. Накопление угольных пластов с зольностью

до 3% происходило, очевидно, в застойных водоемах без привноса извне кластического и растворенного материала. Зольность углей в этом случае образовалась в основном за счет минеральных веществ, содержащихся в самих растениях — углеобразователях. Накопление углей с зольностью 3—15% происходило в условиях проникновения в торфяник вод, содержащих в виде коллоидных и истинных растворов минеральные примеси, в том числе и германий.

Зольные угли образовались в условиях значительного привноса в торфяник кластического материала. Зола этих углей, представленная терригенным материалом, практически негерманиеносна.

Связь германия с веществом угля определяли изучением распространения германия по фракциям угля различной плотности. Германиеносный уголь, измельченный до диаметра частиц 0,25 *мм*, разделяли на фракции в тяжелых жидкостях с разницей плотностей 0,01—0,025 *г/см*^{3}. Петрографический состав каждой фракции изучали в аншлифах — брикетах, изготовленных из угольного порошка. В каждой фракции угля определяли зольность и содержание германия.

Как видно из табл. 2, основное количество германия (54%) связано с углями плотностью 1,32—1,36 *г/см*^{3}. Во фракциях плотностью $>$ 1,36 *г/см*^{3}, т. е. с увеличением зольности и фюзенизированных компонентов, содержание германия уменьшается. Германий связан в основном с гелифицированным веществом угля. Зависимость содержания германия от зольности угля, образовавшейся из терригенного материала, обратная. Следовательно, германий входит в состав той части золы, которая образовалась при взаимодействии с органическим веществом угля и в меньшей степени — с золой угля, перешедшей из растений-углеобразователей.

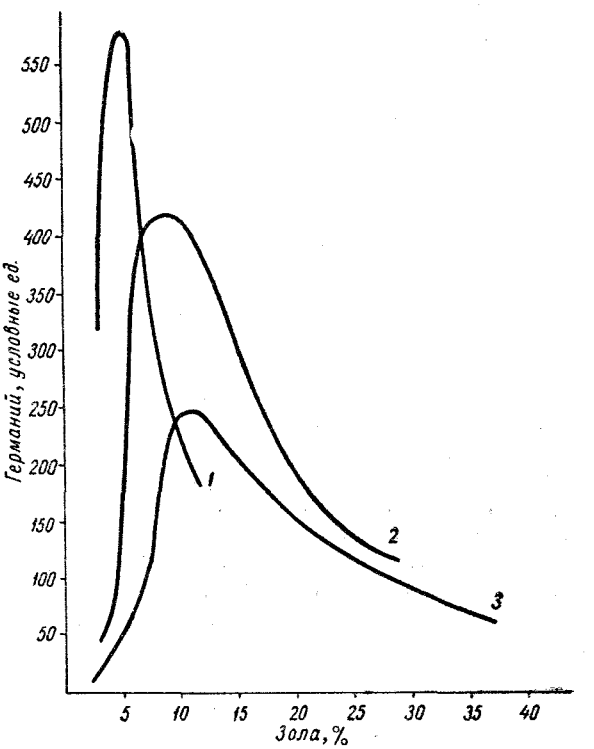


Рис. 4. Зависимость содержания германия в золе от зольности угля в нижнем рудном горизонте.

1, 2, 3 — номера пласта.

Связи редкометального оруденения с условиями формирования угольного пласта. Е. О. Погребицкий, изучая германиеносность углей, впервые пришел к выводу, что распределение германия в углях контролируется фациальными условиями их накопления*. Нами подтвержден этот вывод и установлена связь германиеносности со строением угольного пласта, петрографическим составом углей, литологическим составом пород почвы и кровли, с зольностью угля.

Решающими факторами, определяющими свойства углей и их германиеносность, являются условия накопления углеобразующего материала. Под условиями угленакопления понимается совокупность таких факторов, как палеогеографическая обстановка, скорость накопления растительного

Таблица 2

Характеристика германиеносного угля

Плотность фракции, г/см³	Выход фракции, %	Зольность на сухой уголь, %	Распределение по фракциям, %			
			германия	гелифицированных компонентов	фюзенизированных компонентов	кутинизированных компонентов
<1,310	3,8	3,10	8,3	6,1	2,69	31,60
1,310<1,320	4,7	3,10	9,6	7,7	2,39	17,80
1,320<1,330	6,2	3,13	11,8	8,0	3,43	12,50
1,330<1,340	11,4	4,10	15,9	10,5	3,52	8,13
1,340<1,350	18,1	4,39	12,8	9,0	2,69	6,76
1,350<1,360	13,5	5,21	13,3	8,9	3,44	4,66
1,360<1,380	8,9	6,12	8,3	8,6	4,83	5,02
1,380<1,400	8,2	6,47	7,3	8,6	5,72	4,85
1,400<1,425	6,4	6,68	5,0	8,5	6,08	3,28
1,425<1,450	3,1	8,08	3,0	8,1	9,42	1,64
1,450<1,475	3,1	9,98	2,0	7,4	12,60	1,75
1,475<1,500	3,6	11,09	2,0	5,1	14,10	2,01
≥1,500	9,0	28,55	0,7	3,5	29,09	—
	100	100	100	100	100	100

материала, тектонический режим областей сноса и торфонакопления, фациальные условия накопления торфяника, связанные со степенью обводненности и геохимической обстановкой водоема, и др.

Перед накоплением торфяника в период пенепленизации рельефа областей сноса и торфонакопления, на последней происходило накопление песков, алевролитов, глин. В водной среде в виде коллоидной взвеси и истинных растворов повышается содержание микроэлементов и других минеральных образований. Так как концентрации микроэлементов никогда не могут быть такими, чтобы могли образоваться насыщенные растворы, подобные растворам кальция, магния, железа, фосфора и др., микроэлементы остаются длительное время в водных растворах. Для их осаждения необходимы соответствующие геохимические условия и реакционно-способные вещества. Такими веществами, очевидно, были гуминовые кислоты. При формировании торфяников гуминовых кислот в водной среде водоема достаточно для осаждения любых порций микроэлементов. Следовательно, основным фактором, определяющим германиеносность углей, является количество германия, поступающего в водоем торфонакопления. Это, очевидно, будет зависеть в первую очередь от минералогического состава области сноса и условий выщелачивания и глубокого геохимического выветривания пород.

Таким образом, в период начальных стадий углеобразования в обычных условиях торфонакопления водная среда будет обогащена почти всеми элементами, из которых состоит область сноса. Количество их в водной среде зависит от содержания этих элементов в породах области сноса, их миграционной способности и условий выщелачивания и выноса их в растворах. В водном бассейне в период торфонакопления растворенные в воде элементы осаждаются гуминовыми веществами, образуя гуматы, не растворимые не только в воде, но и в щелочах и кислотах. Этими явлениями и можно объяснить наличие нижнего рудного горизонта на всей площади распространения угольного пласта. В период накопления средней части геологического разреза пласта вследствие пенепленизации рельефа прекращается поступление микроэлементов. Начинается процесс интенсивного химического выветривания пород области сноса. В условиях, при которых образуются зоны расщепления угольного пласта, возможно поступление водных растворов микроэлементов в эти участки, чем и можно

объяснить увеличение содержания германия и мощности рудных горизонтов в этих зонах.

В конце периода торфонакопления пласта оживляется общая тектоническая обстановка, а следовательно, и гидросеть. Начинается интенсивный вынос микроэлементов из области сноса и привнос их в область торфонакопления, где формируется верхний рудный горизонт. Перед накоплением пород кровли начинается вынос с области кластического материала. В результате расчлененности рельефа механическое выветривание преобладает над химическим, вынос элементов в растворах прекращается, а следовательно, прекращается и накопление их в торфянике в виде гуматов. Поэтому высокое содержание германия в рудных горизонтах связано с участками развития малозольных углей.

Таким образом, накопление германия в углях тесно связано со следующими условиями: а) наличием пород в области сноса, содержащих германий, при этом легко подвергающихся глубокому выщелачиванию и химическому выветриванию (например, интрузивные образования кислого ряда с повышенным кларковым содержанием германия — такие, как граниты, гранодиориты и др.); б) наличием выровненного рельефа, способствующего интенсивному и глубокому химическому выветриванию; в) замедленным тектоническим движением и обновлением гидросети, способствующими выносу элементов не в виде механической взвеси, а в виде истинных и коллоидных растворов; г) чередованием жаркого аридного климата с гумидным, которое способствует глубокому химическому выветриванию и выносу в растворах микроэлементов; д) наличием реакционно-способных гуминовых кислот и соответствующей геохимической среды, способствующей осаждению германия и других элементов.

ВЫВОДЫ

Германиевое оруденение в углях сингенетично накоплению угольных пластов и генетически связано с гелифицированным веществом угля.

Высокие концентрации германия в угольных месторождениях паралического типа приурочены к прикровленным и припочвенным слоям пласта. По площади распространения германиеносные слои выдержаны на больших площадях, поэтому названы нами рудными горизонтами. Высокое содержание германия в угольных пластах сложного строения тяготеет к зонам расщепления пласта. Эти участки характеризуются углем с повышенным содержанием структурных гелифицированных компонентов и пониженной зольностью.

Выявленные закономерности распространения германия в угольном пласте и связь германиеносности угля с условиями накопления пласта могут служить основой для составления пластовых прогнозных карт германиеносности.

Контролирующими поисковыми факторами германиеносных углей с повышенным и высоким содержанием элемента могут служить: зоны расщепления пласта, участки малозольных углей, литологический состав пород почвы и кровли, петрографический состав углей и др.