

<https://doi.org/10.3176/oil.1993.2/3.05>**М. М. ФИЛИПPOB, А. Л. ДЕРБАСОВА****РТУТЬ В ПРОЦЕССАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ШУНГИТОНОСНЫХ ПОРОД КАРЕЛИИ (РОССИЯ)****М. FILIPPOV, A. DERBASOVA****MERCURY IN METAMORPHOSIS OF KARELIAN (RUSSIA)
SHUNGITE-BEARING ROCKS**

Шунгитоносные породы относятся по происхождению к хемогенным, хемогенно-осадочным, вулканогенно-осадочным и осадочным образованиям, а по возрасту - к нижнему протерозою, людииковийскому надгоризонту, заонежскому и суйсарскому горизонтам [1]. Общим для этих пород является присутствие в них свободного углерода ($C_{св}$) в шунгитовой структурной форме. Они распространены на территории ряда районов Карелии, а их основные запасы сконцентрированы в пределах Онежского синклиория.

По составу шунгитоносные породы подразделяются следующим образом: существенно кремнистые — лидиты, карбонатные — доломиты и известняки, алюмосиликатные, которые в ряде классификаций, в свою очередь, подразделяются на хемогенно-терригенные — с преобладанием калия над натрием и терригенно-хемогенные — с преобладанием натрия над калием. Породы классифицируются как шунгитосодержащие при $C_{св}$ от долей процента до 5 %, шунгитистые — от 6 до 25 % и шунгитовые — от 26 до 80 %.

Существуют достаточные основания считать, что шунгитоносные породы заонежского возраста являются древними аналогами горючих сланцев [2, 3], а породы суйсарского горизонта переотложены в ходе разрушения ранних образований, которому сопутствовало существенное разбавление осадков вулканогенным материалом. Шунгитоносные породы залегают преимущественно в виде пластов, часто не выдержанных по мощности, иногда в форме линз. Породы испытали воздействие регионального (начальный этап фации зеленых сланцев), а также частично теплового и контактового метаморфизма. Последнее обусловлено внедрением силлов метадиабазов и метагаббро-диабазов.

Первичное органическое вещество (ОВ) прошло все этапы катагенеза и метаморфизма; имеются также сведения о его локальном окислении - карбонатизации. По отражательной способности и структурным параметрам ОВ соответствует стадии ПА-А (полуантрацитовой-антрацитовой).

В процессе своего преобразования ОВ генерировало подвижные углеводороды (УВ), которые в настоящее время трактуются как миграционные шунгиты (шунгиты первой разновидности или высшие антраколиты). Формы проявления шунгитов-1 самые разнообразные: межпластовые и секущие жилы, прожилки, линзообразные включения в

Таблица 1. Содержание ртути и свободного углерода в шунгитоносных породах, %

Table 1. Mercury and Organic Carbon Content in Shungite-bearing Rocks, %

Порода (месторождение)	Число проб n	Hg × 10 ⁻⁶			C _{ca}
		Среднее	min	max	
Заонежский горизонт					
Шунгит-1 (Шуныга, Максово, Чеболакша, о. Суйсарь)	5	29,9	6,1	38,8	89—98,7
Шунгитовая (Шуныга)	2	78,1	66,7	89,4	70
Шунгитовая хемогенно-терригенная калиевая (Загоино)	5	108,7	51,5	135,6	27—54
Шунгитовая хемогенно-терригенная натровая (Загоино)	4	55,3	30,0	87,1	42—52
Туффит (Загоино)	3	62,9	18,1	116,5	8,8—25,5
Лидит*	1	5,3	-	-	2,04
Брекчия лидита*	2	39	29	56	2,96
Шунгитсодержащий доломит	3	8,4	7	9	3,5
Шунгитистый туффит*	3	17,8	12	24	12,4
Шунгитовая*:					
Пласт 6	13	21,6	13,5	37,7	25,4
Пласт 7	4	26,3	12	36,5	41,5
Пласт 8	2	35	28	42	44,0
Шунгитсодержащий известняк	1	3,1	-	-	-
Шунгитсодержащий туфоалевролит	1	3,9	-	-	9,4
Шунгитсодержащий витрокластический туф*	1	1,1	-	-	6,0
Базальт*	1	2,1	-	-	-
Шунгитовая (Загоино, пласты 6—9)	822	34,9	55,9**	-	24,4
Диабаз неизменный (Загоино)	13	0,9	0,6	1,9	-
Диабаз на контакте с шунгитовыми породами (Загоино)	3	2,4	1,2	5,8	-
Суйсарский горизонт					
Шунгитсодержащий сланец (Мягрозеро)	13	4,3	1,2	8,0	0—2,5

* Данные работы [8] (месторождение Загоино).

** Коэффициент вариации.

осадках с переотложенным ОВ, натечные образования в миндалинах и жеодах вулканитов.

Интерес к изучению ртути в шунгитоносных породах обусловлен как экологическими, так и научными проблемами. Поскольку шунгитоносные породы уже используются в промышленных масштабах (известно производство шунгизита), а в ближайшей перспективе возможно и более широкое их применение, необходимость оценить содержание в породах токсичных элементов, и в первую очередь ртути, которая относится к числу чрезвычайно токсичных элементов, вполне естественна.

Кроме того, высокая подвижность ртути в геологических процессах, обусловленная ее геохимическими свойствами, а также ее тесная парагенетическая связь с ОВ [4—8] стали решающими аргументами при выборе ее в качестве объекта данного исследования, главная цель которого — расширить и уточнить представления о генезисе шунгитоносных пород и процессах изменения и перераспределения их ОВ.

Содержание ртути в шунгитоносных породах определяли атомно-абсорбционным (флюоресцентным) методом в лаборатории КОМЭ Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института (ЦНИГРИ) и, частично, в аналитической лаборатории "Центргеофизика" Министерства геологии Российской Федерации (г. Александров). Относительная среднеквадратичная ошибка воспроизводимости составила (24,7—32,9) % при средних содержаниях ртути в контрольной выборке от $24,3 \cdot 10^{-6}$ % до $34,1 \cdot 10^{-6}$ % и содержаниях $C_{св}$ от 16,0 до 36,6 %. Оказалось, что для пород с относительно высокими концентрациями $C_{св}$ (и ртути) ошибка воспроизводимости выше. В целом ошибки определения содержания ртути близки к допустимым (30 %) для аналитических методов третьей категории.

Первые сведения о ртути в шунгитоносных породах появились в 1986 г. [9], более подробные данные — в 1989 г. [10]. В то же время ограниченный статистический материал не позволил авторам обосновать причины значительных вариаций ее содержания; по этой же причине выводы, сделанные в статьях об эндогенной природе шунгитового углерода, нельзя признать корректными.

Сводная таблица (табл. 1) полученных к настоящему времени результатов определений иллюстрирует контрастные содержания ртути: минимальные характерны для изверженных пород, типичных вулканогенно-осадочных (сланцы, туфы и туфоалевролиты) и хемогенных (лидиты, доломиты и известняки), а также для пород суйсарского горизонта с переотложенным шунгитовым углеродом; в среднем на порядок больше значения содержания ртути в высокоуглеродистых породах заонежского горизонта, а также в миграционных шунгитах — антраксолитах.

Системные исследования по распределению ртути в шунгитоносных породах выполнены на детально разведанном Зажогинском месторождении.

Месторождение расположено в пределах Толвуйской синклинали, которая является структурой второго порядка и входит в Онежский синклиниорий [11]. Оно сложено циклически построенными пачками пород. Нижняя часть цикла представлена туфами основного состава и шунгитовыми породами, верхняя — доломитами и алевролитами. В первой пачке выделено три цикла, во второй — шесть. На месторождении широко

развиты силлы метадиабазов и метагаббро-диабазов. В пределах месторождения есть зоны метасоматически измененных пород.

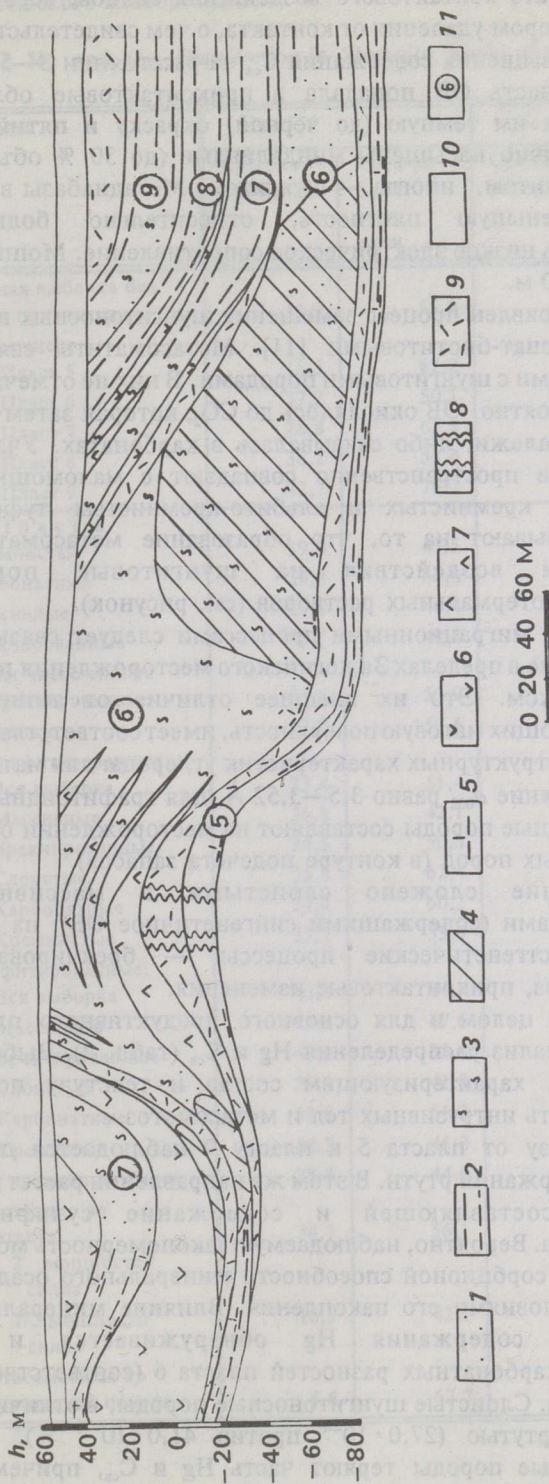
Характерный геологический разрез месторождения с промышленно значимыми (кондиционными) по содержанию $C_{св}$ горизонтами шунгитовых пород приведен на рисунке.

По текстурным признакам шунгитовые породы делятся на массивные, брекчированные и слоистые; они сложены в основном кварцем, шунгитовым углеродом, серицитом, хлоритом, доломитом, кальцитом и тальком. Слоистые породы отличаются от массивных большей примесью пирокластического материала и меньшим содержанием $C_{св}$. Переходы от массивных пород к слоистым постепенные. Брекирование развивается по массивным разновидностям.

Особенностью месторождения является то, что около 60 % запасов представлено брекчированными шунгитовыми породами. Такая порода состоит из остроугольных, часто изометричных обломков, окаймленных белым либо черным цементом (кварц, кальцит, миграционный шунгит). На отдельных участках месторождения снизу вверх по разрезу основного продуктивного пласта-линзы (рисунок) массивные породы сменяются слабо-, средне- и сильнобрекчированными (по соотношению цемент-обломки). Система трещин, по мнению С. О. Фирсовой и др. [12], закладывалась в процессе уплотнения и дегидратации осадка. Трещины впоследствии заполнялись преимущественно кремнеземом, поступающим с гидротермами. Усиление брекчирования стимулировал процесс образования складчатости, о чем свидетельствует нередкая приуроченность сильно брекчированных пород к своду антиклинали.

При объяснении механизма брекчирования, как нам представляется, не следует игнорировать важные особенности катагенеза ОВ, приводящие к появлению жидких и газообразных УВ. Остаточные явления этого процесса постоянно наблюдаются на брекчированных породах. Вокруг обломков обычны ореолы рассеянного углеродистого вещества, в цементе — жеоды кварца, обрамленные пленкой шунгита, микротрещины, заполненные антракосолитом. В породах с минимальным количеством кварцевого цемента ("псевдобрекчия" — по С. О. Фирсовой) контуры обломков подчеркнуты пленкой явно новообразованного углеродистого вещества. В некоторых случаях обломки освещаются полностью, а их трещины и пространство между ними заполняются миграционным шунгитом. Массовое развитие миграции УВ должно было приводить к значительному повышению пластового давления (конечно, при благоприятных геологических условиях [13]), и к последующей объемной усадке пород, которая и стала причиной появления трещин. Отсутствие "системы трещин" у палеозойских горючих сланцев, которые близки к шунгитовым породам по содержанию первичного ОВ и находятся на буроугольной стадии катагенеза, также заставляет усомниться в существенной роли диагенеза в брекчировании пород.

На осадочные породы сильно повлияло внедрение в их толщу диабазовых силлов. Наиболее значительные изменения проявляются в области контактов: идет частичное "выгорание" ОВ, серицитизация и пиритизация пород в зонах мощностью до 10 м. Породы нередко приобретают коксоподобный вид и повышенную пористость. По мере приближения к контакту в породе увеличивается количество кальцитовых и кальцит-шунгит-пиритовых прожилков; встречаются следы смятия, хлоритизации,



Геологический разрез Зажогинского месторождения шунгитовых пород (по данным работы [11], с изменениями): 1—3 — шунгитовые породы массивной (1), слоистой (2) и брекчированной (3) текстуры; 4 — области развития графитовидных пород; 5 — карбонатные породы; 6 — метадиабазы; 7 — лититы; 8 — область развития метасоматитов по шунгитовым породам; 9 — туфы различного состава; 10 — четвертичные отложения; 11 — номер пласта шунгитовых пород

Cross section of Zazhogino deposit of shungite rocks (from [11] with variations). Legends: 1-3 shungite rocks with massive (1), banded (2) and brecciated (3) texture; 4 - graphitoid rocks; 5 - limestone shungite rocks; 6 - meta-diorite; 7 - lilit; 8 - metasomatic rocks; 9 - tuffs; 10 - quaternary deposits; 11 - number of band

брекчирования (пирит-шунгит-карбонатный цемент). Мигрирующее ОВ, образованное в результате контактового воздействия силлов, вероятно, задерживалось на некотором удалении от контакта, о чем свидетельствуют обычные локальные повышения содержания $C_{св}$ на расстоянии 3—5 м от контакта. Некоторая часть ОВ попадала в приконтактные области метадиабазов, придавая им темную (до черной) окраску и пятнистый облик. Такие зоны обычно насыщены миндалитами (до 30 % объема), которые заполнены пиритом, иногда — шунгитом. Метадиабазы в зоне контакта имеют меньшую плотность, относительно большую радиоактивность и очень низкое электрическое сопротивление. Мощность таких зон доходит до 10 м.

На месторождении проявлен процесс замещения шунгитоносных пород карбонатными и карбонат-биотитовыми [11]. Метасоматиты связаны постепенными переходами с шунгитовыми породами. В них не отмечается миграционного ОВ. Вероятно, ОВ окислялось до CO_2 , которая затем либо выходила за пределы залежи, либо связывалась в карбонатах. Участки развития метасоматитов пространственно совпадают с маломощными линзовидными телами кремнистых и альбито-кремнистых туфов и лидитов, которые указывают на то, что образование метасоматитов явилось результатом воздействия на шунгитовые породы поствулканических гидротермальных растворов (см. рисунок).

По нашему мнению, с миграционными процессами следует связывать широкое распространение в пределах Загогинского месторождения пород с графитоидным блеском. Это их внешнее отличие от типичных шунгитовых пород, имеющих матовую поверхность, имеет соответственное выражение и на уровне структурных характеристик углерода: для матовых межплоскостное расстояние d_{002} равно 3,5—3,52 Å, для графитоидных — 3,43—3,47 Å. Графитоидные породы составляют на месторождении около трети объема шунгитовых пород (в контуре подсчета запасов).

Итак, месторождение сложено слоистыми и массивными шунгитоносными породами (содержащими сингенетичное ОВ); на этом фоне развивались постгенетические процессы — брекчирование, графитация, метасоматоз, приконтактные изменения.

Для месторождения в целом и для основного продуктивного пласта выполнен системный анализ распределения Hg и $C_{св}$ (табл. 2). Выборки делятся по признакам, характеризующим состав и текстуру пород, графитоидность, близость интрузивных тел и метасоматоз.

Снизу вверх по разрезу от пласта 5 к пласту 9 наблюдается почти закономерный рост содержания ртути. В этом же направлении растет доля первичноглинистой составляющей и содержание сульфидов, преимущественно пирита. Вероятно, наблюдаемую закономерность можно объяснить повышением сорбционной способности минерального осадка и восстановительными условиями его накопления. Влияние минеральной основы на уровень содержания Hg обнаруживается и на примерекремнистых и карбонатных разностей пласта 6 (соответственно $39,0 \cdot 10^{-6}$ и $29,0 \cdot 10^{-6}$ %). Слоистые шунгитоносные породы, в отличие от массивных, обеднены ртутью ($27,0 \cdot 10^{-6}$ против $41,0 \cdot 10^{-6}$ %). При брекчировании массивные породы теряют часть Hg и $C_{св}$, причем на величину потерь влияет степень брекчирования.

Особый интерес представляет сравнение неграфитированных и графитированных шунгитовых образований. Вне зависимости от состава

Таблица 2. Распределение ртути и свободного углерода в шунгитовых породах
Зажогинского месторождения, %Table 2. Hg and C_{org} Distribution in Shungite Rocks of the Zazhogino Deposit, wt %

Породы	Hg × 10 ⁻⁶		C _{св}		Число проб n
	Среднее значение	Коэффициент вариации	Среднее значение	Коэффициент вариации	
Полная выборка без учета признаков	34,9	55,9	24,4	42,5	822
В том числе:					
Пласт 5	16,5	62,2	16,1	71,7	36
Пласт 6	37,2	50,1	27,8	31,7	579
Пласт 7	28,8	62,8	17,0	50,0	144
Пласт 8	36,2	52,4	12,7	67,5	40
Пласт 9	42,7	79,7	20,2	55,5	23
Пласт 6					
Кремнистые	39,0	47,5	28,5	28,5	461
Карбонатные	29,8	60,0	24,8	44,5	106
Массивные	41,6	46,4	30,8	26,2	196
Брекчированные	36,7	48,4	27,9	25,1	309
В том числе сильно брекчированные	35,4	50,9	26,0	26,5	90
Слоистые	27,0	59,6	19,4	60,3	74
Неграфитированные:					
Вся выборка	33,4	51,4	26,1	36,7	361
Массивные	36,8	42,1	28,1	33,1	74
Брекчированные	34,5	50,6	28,0	27,4	223
Слоистые	25,8	62,4	17,4	64,0	64
Карбонатные	27,9	60,2	32,1	46,2	87
Кремнистые	35,1	55,6	24,2	42,1	274
Графитированные:					
Вся выборка	43,4	44,5	30,6	21,1	218
Массивные	44,6	47,6	32,8	20,8	106
Брекчированные	42,6	35,8	27,5	18,5	65
Слоистые	35,3	41,8	32,0	18,9	10
Карбонатные	39,9	51,3	32,5	27,8	19
Кремнистые	42,3	46,0	30,0	22,5	199
Без влияния диабазов	38,3	44,0	27,5	33,3	353
Расстояние до контакта:					
< 2 мощностей силла	34,3	56,1	26,3	34,3	123
< 1/2 мощности силла	16,5	42,1	22,2	62,1	7
Метасоматиты по шунгитовой породе	5,6	67,7	3,0	43,7	18

минеральной основы и текстурных признаков графитация сопровождается существенным ростом содержаний ртути и $C_{св}$ (лишь в брекчированных разностях уровень $C_{св}$ практически не меняется — 28,0 и 27,5 %). Полученный результат дает основание для нетрадиционного толкования этого процесса. По-видимому, изменение структурного состояния углерода вызвано мигрировавшими из брекчированных и приконтактовых участков газообразных и жидких УВ. Действительно, если бы графитация развивалась только под влиянием высоких тепловых (локальных ?) полей, как принято считать, то следовало бы ожидать существенного снижения концентраций ртути, особенно в брекчированных шунгитовых породах, из-за ее высокой летучести. Возможность существования подобного механизма подтверждается данными об искусственной графитации УВ [14].

О миграционных явлениях в зонах, приконтактовых с интрузивными телами, можно судить по уменьшению содержаний ртути и $C_{св}$ в шунгитовых породах и их возрастанию в метадиабазе (таблицы 1 и 2).

Упомянутые ранее метасоматиты сильно обеднены рассматриваемыми элементами. Если для ртути логично предположить вынос, то с $C_{св}$ вопрос совершенно неясен. Возможен либо вынос $C_{св}$, либо его переход в карбонаты.

Помимо локальных процессов изменения пород, инициировавших миграцию вещества, все породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации. По оценкам, основанным на анализе термоформ нахождения ртути, и другим характеристикам шунгитовых пород, температура воздействия составляла 320—360 °С. При такой температуре должна была происходить заметная миграция ртути. Отсюда следует, что ее первоначальные концентрации в шунгитоносных (или всех ?) породах могли быть выше известных в настоящее время. Вполне вероятно, что они были сопоставимы с содержаниями ртути в горючих сланцах палеозоя (от 0,2 до 5 г/т) [4]. Можно также предположить, что в шунгитовых породах на низшей ступени зеленосланцевой фации метаморфизма первичные связи между ОВ и ртутью еще не нарушены. Об этом свидетельствуют значимые коэффициенты линейной корреляции между $C_{св}$ и ртутью для неграфитированных пород разного состава и текстуры (от +0,42 до +0,60). В случае графитации и массивных, и брекчированных, и карбонатных разновидностей линейная корреляция отсутствует. Следовательно, в сложной геологической обстановке Зажогинского месторождения сохранились участки шунгитовых пород, которые можно считать минимально измененными, содержащими сингенетичное ОВ.

Особенности состава миграционных шунгитов изучены на образцах, представляющих все известные их проявления: из пластовой жилы месторождения Шуньга, из секущих жил месторождения Максого и Чеболакша, а также из кварц-кальцитовых жезд, встречаемых в эффузивных породах основного состава, например, на о-ве Суйсарь Онежского озера.

Ранее [15] было показано, что распределение большинства малых элементов в миграционных шунгитах зависит от степени их первичной дифференцированности. Легкоподвижные (низкокипящие) фракции нафтоидов практически не удерживают в своем составе микроэлементы, и, наоборот, малоподвижные (высококипящие, асфальтово-смолистые) — максимально обогащены ими. Среды шунгитов-1 к первой группе отнесен образец из кварц-кальцитовой жезды (о. Суйсарь), ко второй (фракции

которой, однако, имеют различные степени дифференцированности) отнесены шунгиты из месторождений Шуньга, Максово и Чеболакша. Характерной особенностью легкоподвижных нафтоидов, мигрирующих совместно с гидротермальными растворами, является относительно высокий уровень содержания типичного для гидротерм брома (табл. 3); таким образом, по его содержанию можно судить о механизме переноса битумов от источника (материнской породы) к месту залегания.

Действительно, шуньгский шунгит считается малодифференцированным, залегающим непосредственно возле пласта шунгитовой породы, которую, предположительно, относят к материнской — то есть это пример миграционного шунгита, не испытавшего влияния гидротерм (низкие содержания брома и высокие — почти всех других микроэлементов). Максовский и чеболакшский шунгиты рассматривались ранее как представители среднедифференцированных нафтоидов. Напомним также, что и по уровню структурной упорядоченности углерода чеболакшский шунгит является наиболее совершенным.

Ртуть в нафтоидах, как видно из табл. 3, ведет себя своеобразно. В малодифференцированных шунгитах, не испытавших сильного термального воздействия (шуньгский, максовский), ее содержания достаточно высоки. Вероятно, такие концентрации являются предельными при отделении нафтоида от ОВ осадков. Перенос нафтоидов высокотемпературными гидротермами на определенной стадии приводит к обеднению их ртутью (чеболакшский шунгит), а на заключительных стадиях (низкотемпературных), наоборот, к вторичному обогащению (суйсарский).

Таблица 3. Микроэлементы в миграционных шунгитах, г/т

Table 3. Microelements in Migration Shungite, ppm

Элемент	о. Суйсарь (Кв.-кальц. жеода)	Шуньга (жильный)	Максово (жильный)	Чеболакша (жильный)
Hg	0,39	0,31	0,28	0,07
Br	76	7,7	18	37
Ni	21	980	260	850
Zn	<4,4	260	110	59
As	<4,0	220	10	5,0
Sb	0,7	2,8	60	12
Se	<0,2	2,9	2,4	6,9
U	<0,2	4,0	9,9	0,8
C _{св.} %	98,7	96,7	98,0	89,4

П р и м е ч а н и е : Содержание микроэлементов, кроме ртути, определено нейтронно-активационным методом.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Содержание ртути в шунгитоносных породах Карелии варьирует от $1,1 \cdot 10^{-6}$ до $135,6 \cdot 10^{-6}$ %. Среди них наибольшее содержание ртути имеют шунгитовые породы — от $10 \cdot 10^{-6}$ до $135,6 \cdot 10^{-6}$ %, с учетом потерь при метаморфизме. По содержанию ртути они сопоставимы с горючими сланцами палеозоя.
2. Наблюдается некоторая зависимость содержания ртути от состава минеральной основы шунгитовых пород, что наряду с равномерным распределением ртути в породах и прямой значимой корреляцией $C_{св}$ и ртути свидетельствуют о синхронности их поступления в бассейн осадконакопления.
3. Значимые корреляционные связи между содержаниями подвижных элементов (ртуть и $C_{ср}$) в шунгитовых породах со слоистой и массивной структурами дают основание считать их слабо измененными.
4. Брекчирование пород связано с процессом массового отделения подвижных УВ.
5. Дополнительная структурная перестройка шунгитового вещества обусловлена влиянием мигрирующих флюидов, в составе которых есть УВ и ртуть.
6. Метаморфизм, брекчирование и метасоматоз шунгитовых пород, равно как и контактовые их изменения, сопровождаются выносом ртути и УВ; графитация шунгитовых пород и приконтактные изменения метадиабазов ведут к обогащению пород подвижными элементами.
7. В миграционных шунгитах содержание ртути зависит от степени дифференцированности их первичного углеводородного состава и от температуры гидротерм.

M. FILIPPOV, A. DERBASOVA

MERCURY IN METAMORPHOSIS OF KARELIAN (RUSSIA) SHUNGITE-BEARING ROCKS

Summary

Shungite-bearing rocks widely spread in Karelia are of chemogenic, chemogenic-sedimentary, volcanogenic-sedimentary or sedimentary origin, and belong to the Lower Proterozoic Ludicovian series, Transonega or Suisaari horizons. All these rocks are characterized by the presence of free carbon in shungite inclusions.

We have enough reason to believe that the shungite-bearing Transonega rocks are ancient analogues of oil shales, and that the Suisaari horizon was redeposited in the course of destruction of former structures accompanied by considerable enrichment of sediments with volcanic materials. The original organic matter of these rocks went through all stages of catagenesis and metamorphism; there exist data about its local oxidation — carbonatization. During its transformation the organic matter generated mobile hydrocarbons which are now considered migratory shungites (shungite-1 or higher anthraxolites).

The aim of this work was broadening and elaborating the conception on genesis of shungite-bearing rocks and the transformation and redistribution processes of their organic matter. High mobility of mercury in geological processes and its close paramagnetic relation to the organic matter induced us to choose Hg as the object of the present study.

The content of mercury in shungite-bearing rocks was determined by atomic absorption (fluorescence) method. The data summarized in Table 1 indicate that mercury and free carbon content varies broadly, their corresponding values in high-carbonaceous shungite ($C_{org} = 26$ to 80 %) and migratory shungites being on the average a magnitude higher than in other rocks.

Systematic studies have been carried out on the thoroughly investigated Transnaga deposit whose characteristic geological profile is presented in figure where industrially significant (with respect to C_{org} content) horizons have been marked. Systematic analysis of the whole deposit and the main commercial bed 6 has been carried out (Table 2). In addition to that, in migratory shungites the content of trace elements has been determined (Table 3).

The main conclusions drawn from this study are as follows:

1. The content of mercury in shungite-bearing rocks varies in wide limits ($1.1 \cdot 10^{-6}$ to $135.6 \cdot 10^{-6}$ %). In this respect among the rocks studied shungites correspond to Palaeozoic oil shales.
2. The observed dependence of mercury content on the composition of the mineral carrier of shungite rocks and the homogeneous distribution of Hg in rocks, as well as a correlation between the Hg and C_{org} content attest their synchronous accumulation in the basin of sedimentation.
3. Essential correlation between the content of those two mobile elements in shungite rocks of stratified and massive structures allow to consider them to be only slightly altered.
4. Brecciation of the studied rocks is resulted by large-scale loss of mobile hydrocarbons.
5. An additional structural rearrangement of shungite material is caused by the action of mobile fluids, containing hydrocarbons and mercury.
6. Metamorphism, brecciation and metasomatism of shungite rocks as well as the related changes are accompanied by removal of mercury and hydrocarbons; graphitization of shungite rocks and changes in metadiabases.
7. In migratory shungites the content of mercury depends on the degree of differentiation of its initial hydrocarbon composition and on the temperature of hydrotherms.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология шунгитоносных вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии / Ред. В.А. Соколов. - Петрозаводск, 1982.
2. Лопатин Н.В. Эволюция биосферы и горючие ископаемые // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1979. №7. С. 5-22.
3. Горлов В.И., Филиппов М.М. О генезисе шунгитового углерода пород суйсарской свиты нижнего протерозоя Карелии // Методика и результаты геофизических исследований докембрийских пород восточной части Балтийского щита. Петрозаводск, 1987. С. 105-122
4. Клер В.Р. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР // Геохимия элементов. М., 1987.
5. Озерова Н.А., Пиковский Ю.И. Ртуть в углеводородных газах // Геохимия процессов рудообразования. М., 1982. С. 102-136.
6. Гольдберг И.С. Природные битумы СССР. Л., 1981.
7. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. - Л., 1982. - 208 с.
8. Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути. -М., 1972.
9. Дербасова А.Л., Галдобина Л.П. О ртути в шунгитовых породах протерозоя Карелии // 2-всероюз. совещ. по геохимии углерода : Тез. докл. М., 1986. С. 81.
10. Галдобина Л.П., Дербасова А.Л. Ртуть в шунгитовых породах протерозоя Карелии // Геохимия. 1989. №3. С. 451-455.
11. Купряков С.В., Михайлов В.П. Зажогинское месторождение шунгитовых пород // Новое в геологии Северо-Запада РСФСР. М., 1988. С. 79-86.

12. Фирсова С.О., Шатский Г.В. Брекчии в шунгитовых породах Карелии и особенности их генезиса // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302. №1. С. 177-180.
13. Неручев С.Г. и др. Нефтегазообразование в отложениях доманикового типа. - Л., 1986.
14. Сюняев З.И. Нефтяной углерод. М., 1980.
15. Филиппов М.М., Горлов В.И., Кузьмин С.А. Геолого-геофизическое исследование нефтоидной природы шунгитов Карелии // Результаты геофизических исследований докембрийских образований Карелии. Петрозаводск 1983. С. 71-87.

Представил В. Пуура

Поступила в редакцию

08.06.92

Институт геологии
Академии наук России
г. Петрозаводск, Россия

Presented by V. Puura

Received June 8, 1992

Academy of Sciences of Russia,
Institute of Geology
Petrozavodsk, Russia