

УДК 622.7/17:553.81

© В.А.Чантурия, Г.П.Двойченкова, О.Е.Ковальчук, А.С.Тимофеев, 2014

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТАХ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

В.А.Чантурия (ФГБУ ИПКОН РАН), Г.П.Двойченкова (ФГБУ ИПКОН РАН, СВФУ),
О.Е.Ковальчук (НИГП АК «АЛРОСА»), А.С.Тимофеев (ФГБУ ИПКОН РАН)

Исследованы минералогический и гранулометрический составы отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья. Изучены закономерности распределения минералов по классам крупности в тяжелой и легкой фракциях хвостовых отложений. Установлена равномерность распределения тяжелых минеральных фракций по глубине их залегания. Выявлены факторы, позволяющие рекомендовать отвальные хвосты обогащения кимберлитов как техногенные алмазосодержащие образования.

Ключевые слова: минералогия, алмаз, кимберлит, фракция, месторождение, отвальные хвосты.
Чантурия Валентин Алексеевич, vchan@mail.ru, Двойченкова Галина Петровна, dvoigr@mail.ru, Ковальчук Олег Евгеньевич, oleg.kovalchuk@mail.ru, Тимофеев Александр Сергеевич, timofeev_ac@mail.ru

SPECIAL ASPECTS OF MINERAL COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF MINERAL COMPONENTS IN THE FINAL TAILINGS OF BLUE GROUND PROCESSING

V.A.Chanturiya, G.P.Dvoychenkova, O.E.Kovalchuk, A.S.Timofeev

Their vestigation of the mineralogical and granulometric composition of the final tailings of blue ground processing are described. The regularities of the distribution of minerals on size grades, heavy and light suites of tail deposits are studied. The uniformity of distribution of heavy mineral fraction through the depth of tail deposits is determined. The factors, allowing to recommend the final tailings of blue ground processing as a technogenic diamond-bearing formations are revealed.

Key words: mineralogy, diamond, kimberlite, fraction, deposit, final tailings.

Отвальные хвосты алмазоизвлекающих фабрик представляют собой водные суспензии тонкоизмельченного кимберлитового сырья, из которого максимально полно извлечены алмазные кристаллы. Однако существующие технологии переработки не дают возможности в полном объеме извлекать алмазы мелких классов $-2+0,5$ мм, что позволяет рассматривать зернистые фракции отвальных хвостов как перспективное техногенное алмазосодержащее сырье, требующее оценки целесообразности вовлечения его в повторную переработку. Высокое содержание ассоциаций измененных минералов кимберлита, тонкодисперсных фракций и тонкослоистых силикатов, свойственное большинству месторождений алмазосодержащего сырья, предполагает наличие минеральных ассоциаций, способных изменять природные свойства поверх-

ности алмазных кристаллов и образовывать устойчивые к осаждению суспензии в объеме хвостохранилища [3, 4, 6–8]. С учетом изложенного определение качественных и количественных характеристик минерального состава отвальных хвостов алмазоизвлекающих фабрик — актуальная задача для оценки возможности их вовлечения в повторную переработку.

Авторами в лабораториях НИГП АК «АЛРОСА» и ИПКОН РАН выполнен комплекс экспериментальных исследований по определению минералогического состава песковых и тонкодисперсных фракций отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья, а также закономерностей распределения минеральных компонентов по глубине их залегания. Алмазосодержащий материал, используемый в качестве объекта исследова-

1. Гранулометрический состав отвальных хвостов

Проба	Глубина, м	Содержание, вес. %							
		>2	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,05	-0,05+0,01	-0,01+0,001	<0,001
1	0,2	0,40	1,49	25,44	43,79	24,48	3,21	1,16	0,04
	0,5	0,00	0,02	1,68	12,32	17,61	38,39	27,70	2,27
	1,0	0,01	3,28	35,40	34,42	20,34	3,65	2,83	0,08
	2,0	0,00	0,41	10,57	31,03	51,04	4,22	2,66	0,07
	3,5	0,00	1,80	25,27	28,18	29,16	5,27	9,94	0,37
	5,0	0,62	2,32	23,13	23,86	28,04	10,11	11,14	0,77
2	6,0	0,01	0,45	17,49	26,67	33,21	12,56	8,65	0,96
	0,5	3,56	1,72	9,95	30,70	44,45	3,62	5,97	0,01
	1,0	0,00	0,00	0,03	0,21	30,03	62,08	7,57	0,07
	1,5	0,00	0,45	16,25	33,82	39,68	5,57	4,00	0,23
	2,5	0,00	0,00	0,05	0,24	31,04	17,63	48,58	2,45
	3,2	0,00	0,58	9,60	11,78	28,52	12,73	29,76	7,03
	4,0	0,31	1,96	23,45	23,64	26,83	10,95	11,39	1,47
	5,0	0,00	1,76	22,62	23,55	28,35	7,00	15,39	1,32
	6,0	1,52	1,05	11,90	26,92	37,45	8,60	11,58	0,99
	7,0	0,08	1,52	17,86	25,89	29,61	9,55	14,65	0,84
3	11,0	0,00	1,02	18,40	24,24	40,74	7,91	2,72	4,97
	12,0	1,50	0,97	5,22	9,79	43,10	20,38	15,81	3,23
	0,3	4,8	3,2	21,6	25,9	28,8	12,1	3,5	0,2
	1,0	0,0	0,4	5,9	40,1	46,5	4,5	2,6	0,0
	1,5	8,9	1,0	2,3	19,0	47,1	17,7	3,9	0,1
	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	66,6	14,5
	3,5	0,0	0,0	0,5	1,8	40,7	31,8	22,1	3,1
	4,5	0,0	0,0	0,1	0,5	16,8	58,6	18,1	6,0
	6,0	0,1	0,1	1,7	11,0	51,5	15,8	17,8	2,0
	7,5	0,0	0,2	2,2	9,5	45,3	15,2	24,1	3,6
10,0	0,0	0,5	4,2	11,5	36,4	17,5	28,2	1,7	
	12,0	0,0	0,0	1,0	6,0	23,4	33,8	29,2	6,6

ний, отобран сотрудниками НИГП АК «АЛРОСА» из керна колонковых скважин, вскрывших отвальные хвосты на всю мощность их залегания по всему разрезу хвостовых отложений обогатительной фабрики. Изучались пробы трех скважин (далее по тексту пробы 1, 2, 3), каждая из которых представлена образцами с разной глубины залегания.

При визуальном осмотре проб выявлено, что алмазосодержащие хвостовые отложения состоят из разнозернистого песчано-глинистого материала с однотипным строением и незначительной вариацией мощностей выделенных слоев. В лабораторных условиях проанализировано распределение материала по размерам минеральных частиц, при этом впервые определялся гранулометрический состав рудного материала хвостовых отложений с разделением на классы крупности достаточно узкого интервала: 2+1, -1+0,5, -0,5+0,1, -0,1+0,05, -0,05+0 мм. Выход крупных классов установлен методом взвешивания, а фракции от -0,05 до +0,01, -0,01 до +0,001 мм выделены способом седиментации. В каждой из исследуемых проб по глубине залегания хвостовых отложений найдено процентное соотноше-

ние классов крупности (табл. 1). На рис. 1 даны результаты изучения среднего гранулометрического состава хвостовых отложений. Из табл. 1 и приведенных диаграмм видно, что материал проб представлен в основном мелкими классами крупности, равномерно распределенными по объему проб и содержащими до 50% тонкодисперсных фракций (-0,05 мм).

Минеральный состав отвальных хвостов изучался с помощью рентгенографического анализа с использованием методов дифрактометрии и термического анализа, при этом количество минеральных компонентов в образцах рассчитано с применением принципа, согласно которому площадь и интенсивность максимумов на дифрактограммах прямо пропорциональны содержанию минерала, соответствующего этим максимумам.

Исследуемые пробы отвальных хвостов классифицированы как кальцит-доломитовая ассоциация с повышенным содержанием кварца (рис. 2). Кроме того, в отдельных пробах диагностированы полевые шпаты. Собственно кимберлитовые минералы — флогопит и серпентин — сосредоточены

в основном на глубине до 5 м, а минералы группы смектитов и хлоритов в среднем на глубине >2 м. Среднее содержание флогопита и серпентина составляет ~10%, смектитов и хлоритов не превышает 8–12%.

В связи с трудностью диагностирования рентгеноаморфных фаз стандартным рентгенофазовым анализом глинистая фракция дополнительно исследована методом термографии с использованием термоаналитических характеристик минеральных компонентов при изменении температуры от 0 до 1600°C. Дифрактограммы рентгенографического анализа глинистой фракции из пробы класса -0,05 мм приведены на рисунках 3, а, б и 4, а. Рентгеноаморфная фаза крупностью <0,001 мм дополнительно исследована методом термографического анализа (см. рис. 4, б).

Характер пиковых скачков на дифрактограммах позволил диагностировать в образцах хлорит, смешанослойные образования, смектиты, минералы группы слюд и гидрослюд, а также тонкодисперсный кварц с примесью талька. Кроме того, на полученных термограммах фракции <0,001 мм видно, что при T 674°C четко определяется серпентин, а при T 808°C — карбонаты (см. рис. 4, б).

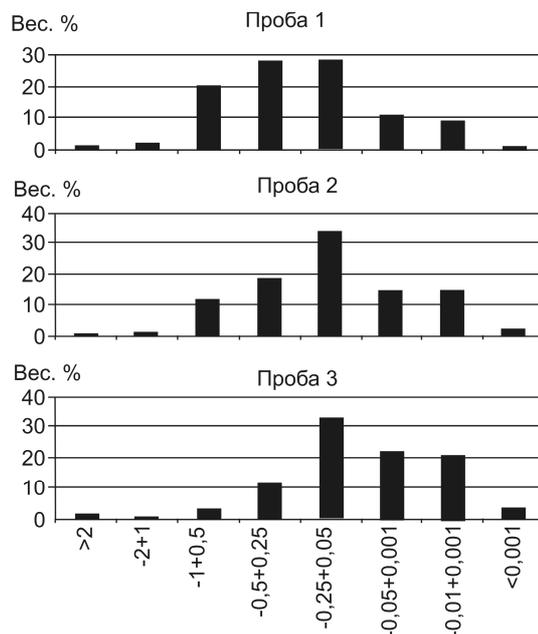


Рис. 1. Средние содержания гранулометрических классов крупности в усредненных пробах отвальных хвостов

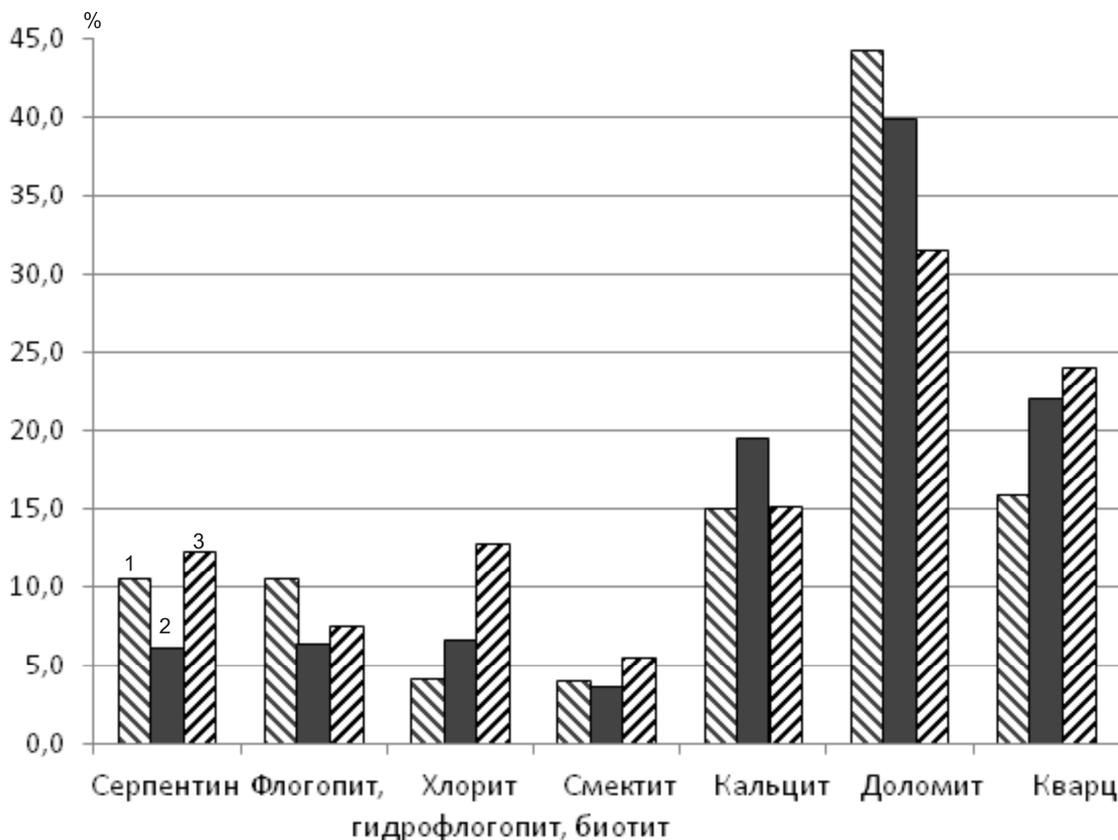


Рис. 2. Содержание минералов в исследованных пробах (1, 2, 3) отвальных хвостов

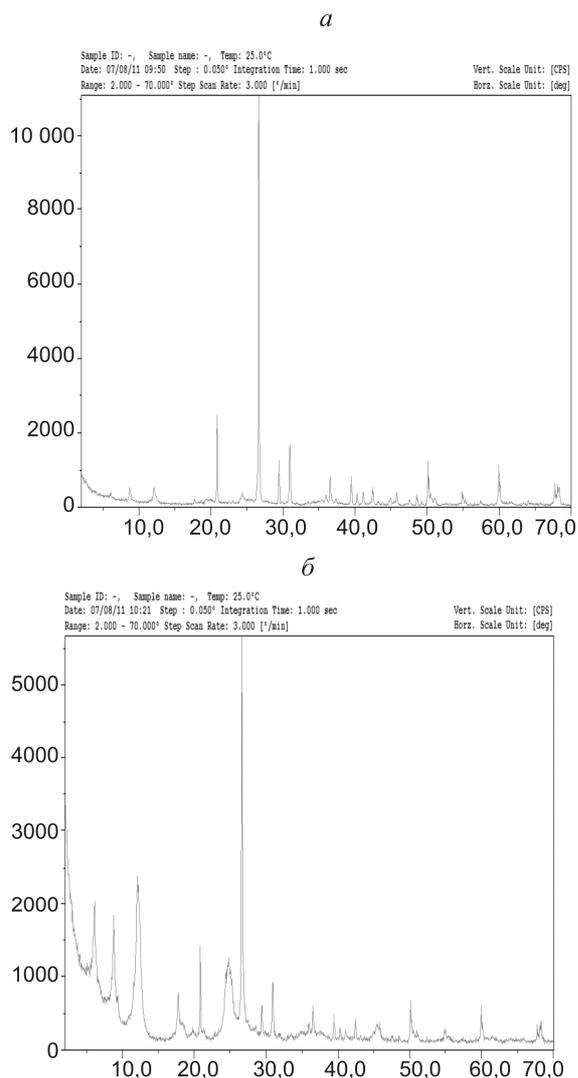


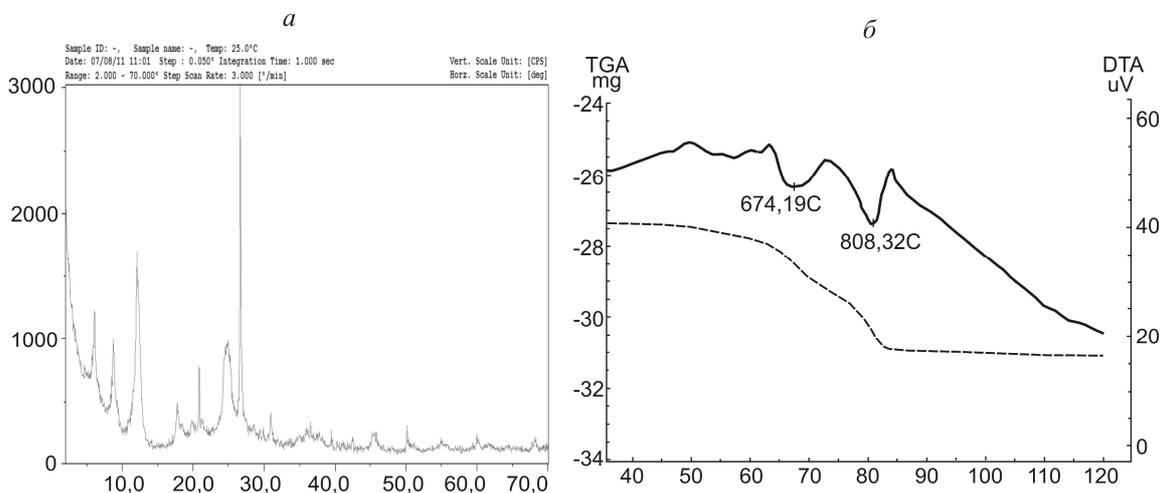
Рис. 3. Дифрактограммы исследованных образцов по фракциям:

a — $-0,05+0,01$ мм; *б* — $-0,01+0,001$ мм

Аналитическими исследованиями подтверждены данные рентгенографического анализа, что позволило диагностировать содержание серпентина и карбонатов в изученных образцах глинистой фракции на уровне 70 и 35% соответственно и идентифицировать глинистую фракцию как серпентин-карбонатную ассоциацию. Сводные результаты минералогических исследований приведены в табл. 2.

Таким образом, при экспериментальных исследованиях отвальных хвостов обогащения алмазосодержащего сырья диагностированы основные минералы песковых и тонкодисперсных фракций хвостовых отложений, а также отмечена равномерность их распределения по узким гранулометрическим классам крупности. На основании минералогического анализа в пробах из отвальных хвостов обогащения установлены минеральные ассоциации — производные основных минералов кимберлитов. По имеющимся в литературе данным об основных минералах кимберлитов и их вторичных изменениях [1, 2, 5], а также полученным результатам минералогических исследований выявлено, что отвальные хвосты по сравнению со средним составом исходного алмазосодержащего сырья характеризуются повышенным содержанием кальцит-доломитовых минеральных образований с высоким (до 50%) количеством тонкодисперсных серпентин-карбонатных глинистых фракций. Наличие последних необходимо учитывать при разработке способов подготовки исследуемого алмазосодержащего сырья к обогащению. В тонкосолистых силикатах преобладают хлориты, смектиты, серпентин и сапонитовые фракции с содержанием до 15% рентгеноаморфной фазы. В целом основной мине-

Рис. 4. Дифрактограмма (а) и термограмма (б) исследованного образца фракции <0,001 мм



ральный состав хвостовых отложений аналогичен таковому исходного алмазосодержащего сырья. Вышеуказанные отличия обусловлены процессами изменений основных минералов кимберлита при выносе из них или привносе отдельных компонентов, а также валентности некоторых ионов в условиях переработки алмазосодержащих кимберлитов и последующем хранении отвальных хвостов.

Однако для оценки возможности повторного обогащения алмазосодержащих хвостовых отложений, кроме granulометрической характеристики и определения минерального состава каждого из выделенных классов, не меньшее значение имеет характер распределения минеральных компонентов в объеме рудной массы по глубине ее залегания. Поскольку алмазные кристаллы концентрируются в тяжелой фракции минерального сырья, выделенной при плотности разделения $2,8 \text{ г/см}^3$, немаловажен также анализ распределения диагностированных минералов по их плотности и глубине залегания.

Экспериментальная оценка распределения минералов по глубине залегания отвальных хвостов выполнена на тяжелых и легких фракциях, выделенных с применением тяжелосредней сепарации в лабораторных условиях. В изученных разрезах по всей мощности залегания отвальных хвостов содержание тяжелой фракции в классе $-2+0,5 \text{ мм}$, начиная от прослойки глинистого алеврита (глубина $0,5 \text{ м}$), с глубиной постепенно возрастает. Характер приведенных кривых (рис. 5) свидетельствует о том, что с увеличением глубины хвостовых

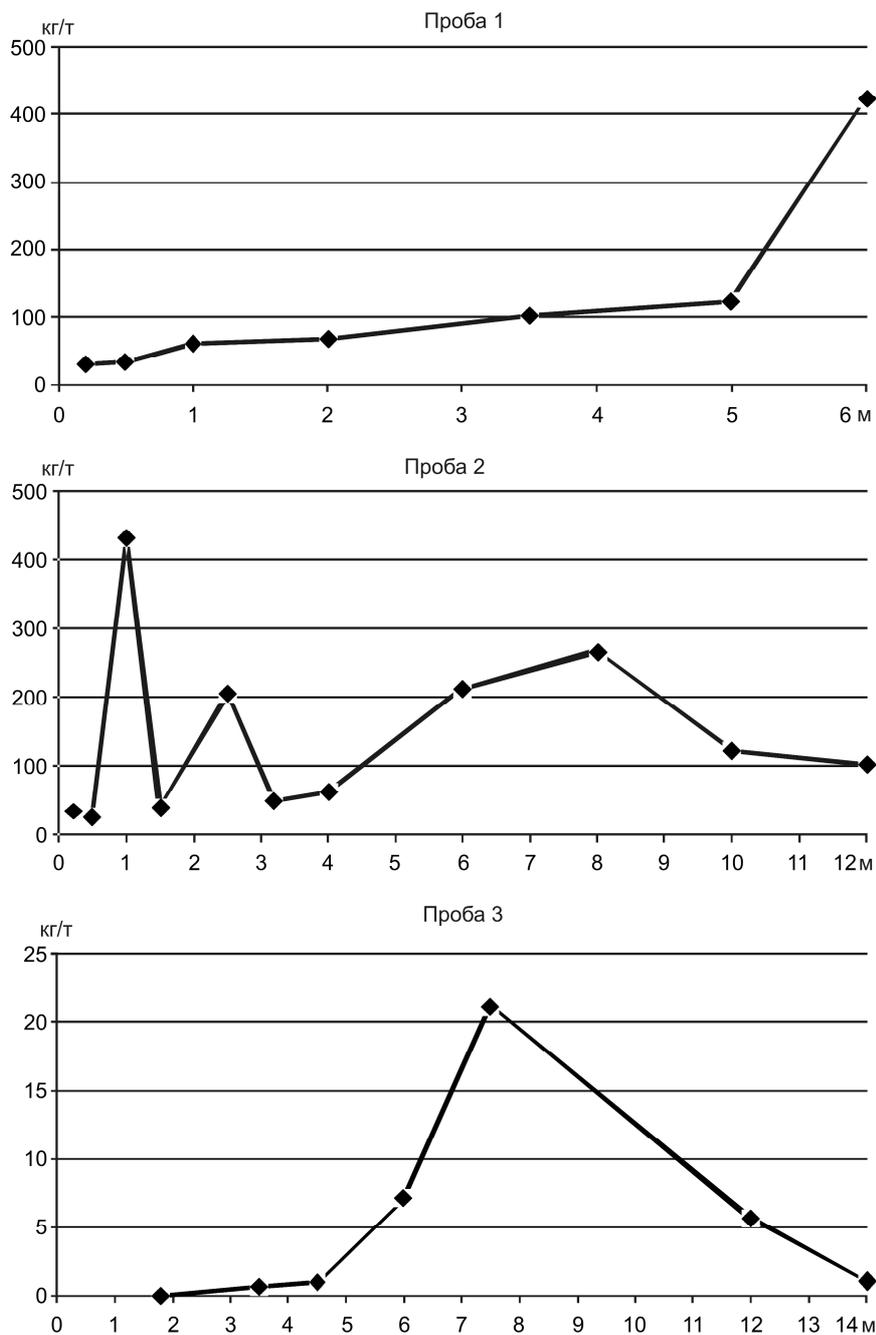


Рис. 5. Содержание тяжелой фракции минералов в исследованных пробах по глубине хвостовых отложений

отложений постепенно повышается содержание тяжелой фракции с максимумом в интервале глубин 3–8 м.

Как показали результаты минералогического анализа проб, в тяжелой фракции алмазосодержащих отложений преобладает гранат с достаточно равномерным распределением по разрезам, присутствуют флогопиты и сидерит, содержание которых увеличивается с глубиной залегания, магнетит,

2. Результаты минералогического анализа глинистой фракции отвальных хвостов

№ № п/п	Исследуемые пробы	Содержание минералов в пробе, %											
		Рентгенографический анализ										Термографи- ческий анализ	
		Глубина отбора, м	Размер фракции, мм	Хлорит	Флогопит, гидрофлогопит, биотит	Смектит, смешанослойные образования	Серпентин	Кварц	Кальцит	Доломит	Полевые шпаты	Сумма	Рентгеноаморфная и аморфная фазы
1	Средняя	-	2	-	7,1	1,4	7,03	13,2	1,8	32,53	67,47	70	26
2	-0,05+0,01	11,4	3,9	3,2	16,5	4,1	9,3	18,2	-	66,6	33,4	-	-
3	-0,01+0,001	13,5	0,7	сл	14,9	1,8	5,2	-	-	46,1	53,9	-	-
4	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Средняя	7	10,2	-	-	5,7	11,5	16,2	2,7	46,3	53,7	64	20
6	-0,05+0,01	-	1,6	-	3,4	32,7	5	12,1	-	54,7	45,3	-	-
7	-0,01+0,001	2,9	0,4	-	6,3	24,1	3,3	7,2	-	44,2	55,8	-	-
8	<0,001	1,7	-	сл	15,4	9,9	0,2	1,6	-	29,6	70,4	-	-
9	Средняя	-	2,2	-	7,9	2,9	8,2	19	-	40,2	59,8	80	24
10	-0,05+0,01	8,2	1,5	-	8,9	2,5	6,7	16,2	-	44	56	-	-
11	-0,01+0,001	8,6	0,2	-	11,8	3,1	2,1	10,8	0,6	37,2	62,8	-	-
12	<0,001	1,9	сл	1,5	12,1	1,5	сл	4,3	-	21,3	78,7	-	-
13	Средняя	-	1,4	-	6,2	3,6	11,2	32	-	54,4	45,6	60	34
14	-0,05+0,01	3,2	3	-	13,8	1,3	8,7	23,5	-	53,4	46,6	-	-
15	-0,01+0,001	2,3	1,3	0,7	10,3	1,9	11,1	16,4	-	44	56	-	-
16	<0,001	2,2	0,3	5	17	1,7	-	5,8	-	32	68	-	-
17	Средняя	9	0,2	-	5,3	6,3	11,1	40,7	-	63,6	36,4	60	34
18	-0,05+0,01	11,7	0,4	-	19,6	5,4	8	22,2	-	67,2	32,8	-	-
19	-0,01+0,001	8	-	4,3	16,5	4,8	3,8	10,8	-	48,1	51,9	-	-
20	<0,001	3,1	-	3,9	18,2	2	-	1,8	-	28,9	71,1	-	-
21	Средняя	8	-	-	5,5	9,4	5	21,4	1,5	50,8	49,2	45	30
22	-0,05+0,01	6,5	0,3	сл	11,3	13,7	6,4	14,7	сл	52,9	47,1	-	-
23	-0,01+0,001	3,9	сл	4,9	5,8	10,6	3	7,1	5,3	35,8	64,2	-	-
24	<0,001	4,4	0,3	5,1	16,3	3,4	-	1,7	-	31,2	68,8	-	-
25	Средняя	13	0,6	-	5,5	4,5	7,7	13,2	2,4	46,9	53,1	64	35
26	-0,05+0,01	19,3	0,8	-	19,3	4,9	7,3	24,6	-	66,1	33,9	-	-
27	-0,01+0,001	16,1	сл	3,7	18,3	2,9	3,3	11	-	55,3	44,7	-	-
28	<0,001	сл	-	-	14,5	сл	10,6	-	-	25	75	-	-

пирит, родохрозит, фиксируются хромшпинелид и хромит. Состав легкой фракции довольно постоянный, преобладают обломки карбонатных пород, отмечаются кварц, серпентин, обломки кимберлитов. Из породообразующих минералов доминируют карбонаты. Идентичные закономерности распределения минералов по тяжелой и легкой фракциям, а также тяжелой фракции по глубине залегания характерны и для исходного рудного сырья.

Итак, выявлены следующие факторы, позволяющие рекомендовать исследованные хвостовые отложения в качестве вторичного сырья для дополнительного извлечения ценных компонентов:

схожесть основного минерального состава и закономерностей его распределения в хвостовых отложениях и исходном рудном сырье;

равномерное распределение минеральных классов крупности как по глубине хвостовых отложений, так и в объеме отдельных проб;

высокий процент тяжелой минеральной фракции, сконцентрированной в равномерно залегающих пластах хвостовых продуктов, что предопределяет аналогичное распределение алмазных кристаллов в отвальных хвостах.

Для хвостовых отложений, рекомендованных в качестве техногенных алмазосодержащих образо-

ваний, необходима разработка технологии их повторной переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Котельников Д.Д., Соболева С.В.* Флогопит и продукты его изменения в кимберлитовых породах Якутии // *Минералы и парагенезисы минералов горных пород и руд.* Л., 1979. С. 69–76.
2. *Котельников Д.Д., Домбровская Ж.В., Зинчук Н.Н.* Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического состава // *Литология и полезные ископаемые.* 1995. № 6. С. 594–601.
3. *Механизм пассивации и активации поверхности алмазов при переработке алмазосодержащих руд / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Обогащение руд.* 1999. № 3. С. 36–39.
4. *Связь поверхностных и технологических свойств алмазов при обогащении кимберлитов / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Горный журнал.* 1998. № 11–12. С. 52–56.
5. *Стадийность и направленность преобразования серпентина и флогопита в кимберлитах трубки Катоба (Ангола) / Д.Д.Котельников, Н.Н.Зинчук, Ю.Б.Стегницкий и др. // Изв. вузов. Геология и разведка.* 2005. № 2. С. 16–23.
6. *Чантурия В.А., Трофимова Э.А., Богачев В.И., Двойченкова Г.П.* Минеральные и органические образования на природных алмазах, условия формирования, методы их удаления // *Горный журнал.* 2010. № 7. С. 68–72.
7. *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Коваленко Е.Г.* Изменение технологических свойств алмазов в условиях переработки вторично измененных кимберлитов // *Руды и металлы.* 2013. № 3. С. 48–55.
8. *Surface properties of diamonds in kimberlites processing / V.Chanturiya, V.Zuev, E.Trofimova et al. // XXI International Mineral Processing Congress Edited by Paolo Massacci University of Rome «La Sapienza» Department of Chemical, Raw Material and Metallurgical Engineering, Rome, Italy, 2000. Vol. B. P. 9–16.*