

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ РЕАГЕНТОВ НА ФЛОТАЦИЮ ГРАФИТА

ЧИЖЕВСКИЙ В. Б., ФАДЕЕВА Н. В., ГМЫЗИНА Н. В.

*Определение флотационной активности различных реагентов произведено на приборе для беспенной флотации. Установлено, что наиболее флотоактивны высокомолекулярные алканы, алкены и алкилбензолы. Альдегиды, кетоны и простые эфиры низкоэффективны, и их наличие в керосине будет снижать эффективность его действия. Составлена классификация изученных реагентов по эффективности их действия при флотации графита. В результате анализа продуктов различных производств для исследований приняты продукты, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды. Использовалась руда Тайгинского месторождения, минералогический анализ которой показал, что основными минералами являются кварц, полевой шпат и слюды. Установлено, что применение выбранных реагентов – циркуляционного газойля, раствора крекинг-остатка и кубового остатка ректификации полиалкилбензолов – обеспечивает повышение извлечения углерода в концентрат по сравнению с использованием керосина. Изучен состав и флотационная активность реагента ВКП. Реагент является полноценным заменителем Т-80 при флотации графита и обеспечивает снижение расхода керосина. Использование реагента ВКП на фабриках при флотации графитовых руд Тайгинского, Завальевского и Ботокольского месторождений позволило исключить из процесса Т-80, снизить расход керосина и повысить извлечение углерода в концентратах.*

*Ключевые слова:* графит; углеводороды; реагенты; флотация; углерод; зольность; извлечение.

На предприятиях извлечение углерода в концентрат при флотации графитовых руд нестабильное и не превышает 75–88 %, что обусловлено различием качества перерабатываемых руд и непостоянством состава основного собирателя – осветительного керосина, в котором кроме углеводородов присутствуют кислородсодержащие соединения, такие как спирты, кислоты, альдегиды и кетоны [1]. Действие его компонентов при флотации графита не изучено, что сдерживает подбор эффективных собирателей из продуктов нефтепереработки и нефтехимических производств. Целью данного исследования является определение наиболее флотоактивных для графита углеводородов и кислородсодержащих соединений с целью изыскания эффективных реагентов.

При флотации графитовой руды из Восточной Индии [2] с использованием механической и колонной флотомашин получен концентрат с выходом 7,44 % и массовой долей углерода 89,65 %. Использовалось сосновое масло и дизельное топливо. Отмечено, что двухстадийная схема обогащения может снизить затраты на измельчение. Оптимальный реагентный режим при флотации графитовой руды месторождения Акдагмадени (Йозгат, Турция) включал силикат-глыбу (500 г/т),

---

**Чижевский Владимир Брониславович** – доктор технических наук, профессор кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: magtu\_ori@mail.ru

**Фадеева Наталья Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет.

**Гмызина Наталья Викторовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет.

керосин (250 г/т), сосновое масло (100 г/т) и обеспечил получение грубого концентрата с массовой долей углерода до 37,93 % [3]. Рекомендована дальнейшая его переработка, например кислотным выщелачиванием. Для выделения графита из графитовых сланцев предложена его флотация с использованием керосина и соснового масла [4] по схеме, включающей основную и контрольную операции флотации с тремя перемешиваниями пенных продуктов. Выход концентрата с промпродуктом составил 16,63 %. Вопросу разделения графита и серицита, являющегося одним из основных загрязнителей концентрата, посвящена работа [5]. Показана возможность использования флотации, кислотной и щелочной обработки, но первый процесс является менее затратным и более экологически чистым. В другой работе [6] для разделения серицита и графита использовали реагент atlox4862 (formaldehyde condensate of methyl naphthalene sulfonic sodium salt) (MF). При применении целлюлозы, pH = 8 и реагента MF при концентрации 250 мг/дм<sup>3</sup> извлечение серицита составило 89,7 %. Для выделения слюды и кальцита из графитовой

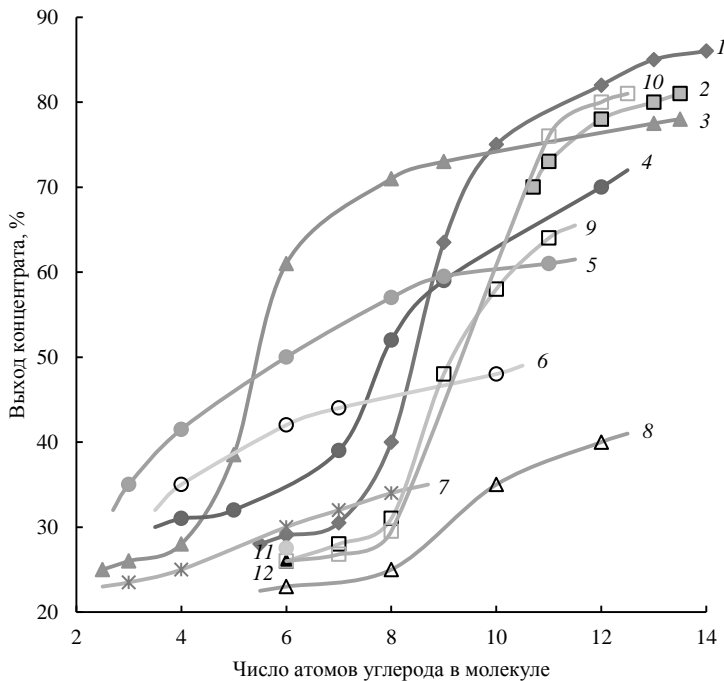


Рис. 1. Влияние числа атомов углерода в молекулах реагентов на выход концентрата:

1 – алканы; 2 – алкены; 3 – спирты; 4 – сложные эфиры; 5 – карбоновые кислоты; 6 – альдегиды; 7 – кетоны; 8 – простые эфиры; 9 – полиметилбензолы; 10 – алкилбензолы; 11 – циклогексан; 12 – бензол

руды предложена технология, предусматривающая флотацию слюды и кальцита и химическое обогащение [7], обеспечивающая повышение массовой доли углерода в концентрате до 91 %. Для получения низкозольных концентратов рекомендуется химическое рафинирование [8, 9], обеспечивающее снижение зольности концентратов до 3 %.

Важным условием успешной флотации частиц является сохранность комплекса *пузырек–частица*, которая, в свою очередь, зависит от устойчивости пузырька и величины капиллярного давления [10]. Сохранность пузырька в значительной степени определяется способностью его оболочки изменять величину поверхностного натяжения и отвечать таким образом на воздействия внешней среды, что наиболее

значимо в случае поверхностно-активных соединений. Одновременно поверхностное натяжение определяет величину капиллярного давления, влияющего на отрыв пузырька от частицы. Значимость поверхности раздела *жидкость–газ* показана и при флотации графитовых руд [11–13]. В работе [11] изучена флотируемость графита и определено поверхностное натяжение в зависимости от концентрации ацетата натрия. Установлено, что для гидрофобных минералов, каким является графит, флотируемость в значительной степени определяется величиной поверхностного натяжения. Указаны гипотезы, рассматривающие дегидратацию гидрофобных поверхностей, снижение коалесценции пузырьков и повышение прочности их закрепления на гидрофобных поверхностях. Дополнительное использование метилизобутилкетона (ММДЦ) в смеси с этиловым спиртом в соотношении 9 : 1 позволило перерабатывать низкосортные графитовые руды месторождения Тамилнаду [12]. Массовая доля углерода во флотационном концентрате составила 96,24 % при извлечении 89 %. Влияние поверхностно-активных свойств реагентов установлено и при флотации сульфидов [13]. В работе показано, что изменение поверхностной активности реагентов на границе раздела *жидкость–газ* позволяет регулировать селективность разделения минералов. Поэтому представляется целесообразным изучить флотацию графитовой руды с использованием реагентов, содержащих спирты.

Таблица 1

**Классификация углеводородов и кислородсодержащих соединений по эффективности их действия при флотации графита**

Очень эффективные	Эффективные	Низкоэффективные
Алканы C <sub>12</sub> –C <sub>14</sub>	Алифатические спирты C <sub>6</sub> –C <sub>13</sub>	Карбоновые кислоты C <sub>3</sub> –C <sub>7</sub>
Алкены C <sub>11</sub> –C <sub>13</sub>	Сложные эфиры C <sub>9</sub> –C <sub>12</sub>	Сложные эфиры C <sub>4</sub> –C <sub>8</sub>
Алкилбензолы C <sub>11</sub> –C <sub>12</sub>	Алканы C <sub>9</sub> –C <sub>11</sub>	Альдегиды C <sub>4</sub> –C <sub>10</sub>
	Карбоновые кислоты C <sub>8</sub> –C <sub>11</sub>	Алифатические спирты C <sub>3</sub> –C <sub>5</sub>
	Полиметилбензолы C <sub>10</sub> –C <sub>11</sub>	Кетоны C <sub>3</sub> –C <sub>8</sub>
	Алкилбензол C <sub>10</sub>	Алканы C <sub>6</sub> –C <sub>8</sub>
		Алкил- и полиметилбензолы C <sub>7</sub> –C <sub>9</sub>
		Простые эфиры C <sub>6</sub> –C <sub>12</sub>

Для определения флотационной активности различных реагентов выполнены опыты по флотации графита на приборе для беспенной флотации [14]. Крупность графита составляла 0,3–0,1 мм, зольность – 3,85 %. Доверительный интервал по выходу концентрата при доверительной вероятности 0,95 не превышал 0,53 %. Результаты приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что в каждом диапазоне значений числа атомов углерода наиболее эффективны определенные соединения. Так, при числе атомов углерода 3–4 наиболее эффективны карбоновые кислоты, а при 6–10 атомах углерода лучшие показатели флотации обеспечивают спирты, которые в первом диапазоне числа атомов углерода являются вместе с кетонами самыми неэффективными. Высокая эффективность флотации при использовании спиртов отмечена и в работе [15]. При числе атомов 12 и более наиболее эффективны алканы, алкены и алкилбензолы. Простые эфиры, альдегиды и кетоны, имеющиеся в составе осветительного керосина, обладают низкой флотационной способностью и будут снижать эффективность его действия при флотации.

Проведенные исследования позволили расклассифицировать изученные реагенты по эффективности их действия при флотации графита (табл. 1).

С использованием данных классификации проанализированы продукты нескольких нефтеперегонных, нефтехимических и других производств и приняты к исследованию по флотации продукты, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды (табл. 2).

Таблица 2

Состав и свойства изученных продуктов

Наименование	Основные компоненты	Массовая доля компонентов, %	Свойства
Циркуляционный газойль – продукт очистки пирогаза	Высокомолекулярные парафиновые углеводороды с числом атомов углерода $\geq 10$	33–37	Темно-коричневая жидкость плотностью 0,95–0,97 кг/дм <sup>3</sup> . Температура начала кипения 453 К, замерзания – 332 К. Вязкость при 341 К – $1,15 \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с. Имеет характерный запах ароматических углеводородов
	Полициклические парафиновые углеводороды	13–16	
	Алкилзамещенные ароматические углеводороды с числом атомов углерода $\geq 12$	14–17	
	Полициклические ароматические углеводороды	9–12	
Раствор крекинг-остатка – продукт переработки нефти	Высококипящие парафиновые углеводороды	16,2–28,2	Подвижная жидкость темно-коричневого цвета с характерным запахом мазута и плотностью 0,89–0,90 кг/дм <sup>3</sup> . Температура вспышки 353 К, начала кипения – 491 К. Вязкость при 323 К – $0,9 \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с.
	Высокомолекулярные ароматические углеводороды	32,0–41,8	
	Высокомолекулярные нафтеновые углеводороды	18,0–25,4	
Кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов	Тяжелые продукты замещения в бензольном кольце $C_6H_mR_1R_2$ , где $m = 2-5$ , $R_1 - CH_3$ , $C_2H_5$ , $R_2 -$ углеводородный радикал нормального строения, до 80 %	73–84	Темно-коричневая маслянистая жидкость плотностью 0,92–0,94 кг/дм <sup>3</sup> . Температура вспышки 368 К, замерзания – 328 К. Вязкость при 338 К – $1,2 \cdot 10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с.
	Бутил- и дибутылбензол	14–19	

При флотации использовалась графитовая руда Тайгинского месторождения с массовой долей углерода 2,65 %. В пробе содержится  $SiO_2 - 77,43$  %;  $Al_2O_3 - 6,66$  %;  $CaO - 5,81$  %;  $MgO - 3,43$  %;  $Fe_2O_3 - 1,89$  %. Минералогический состав пробы изучался на установке Минерал C7 SIAMS Photolab™ [16]. Основными минералами являются кварц 45–50 %, полевой шпат 30–35 %, слюды 9–11 %, глинистые минералы 3–4 %, пирит 2–3 % и тальк 1–2 %. Характерны ассоциации графита с полевым шпатом, биотитом, мусковитом и кварцем. Имеются чистые зерна графита. Глинистые минералы представлены каолинитом и монтморрилонитом и являются цементом для минералов.

Флотация выполнялась на флотомашине ФМЛ-3 с объемом камеры 2 дм<sup>3</sup>. Измельчение руды производилось на лабораторной мельнице периодического действия при соотношении Т : Ж : Ш, равном 1 : 1 : 6, до крупности 42 % класса –0,074 мм. Для оценки эффективности действия изучаемых реагентов выполнены опыты с осветительным керосином. Доверительный интервал по извлечению углерода в концентрат при доверительной вероятности 0,95 не превышал 0,31 %. Результаты флотации приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что предложенные собиратели при расходах  $0,23 \cdot 10^{-3}$  и  $0,25 \cdot 10^{-3}$  кг/т обеспечивают повышение извлечения углерода

в концентрат на 1,03–7,64 % при некотором снижении зольности концентратов. Наиболее эффективен циркуляционный газойль, содержащий высокомолекулярные парафиновые и алкилзамещенные ароматические углеводороды.

Таблица 3

## Сравнительные результаты флотации графитовой руды

Наименование собирателя	Расход · 10 <sup>-3</sup> , кг/т		Извлечение углерода в концентрат, %	Зольность концентрата, %
	собирателя	Т-80		
Осветительный керосин	0,15	0,16	77,04	37,16
	0,20	0,16	79,31	40,04
	0,25	0,16	82,64	43,72
	0,28	0,18	83,41	46,64
Циркуляционный газойль	0,15	0,12	82,64	36,43
	0,20	0,12	86,37	38,29
	0,23	0,12	90,28	39,61
	0,25	0,15	91,07	43,12
Раствор крекинг-остатка	0,15	0,16	78,47	39,54
	0,20	0,16	81,32	41,65
	0,23	0,16	86,15	42,22
	0,28	0,18	87,85	47,72
Кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов	0,15	0,10	77,02	34,85
	0,20	0,10	79,34	36,12
	0,25	0,10	83,67	37,83
	0,28	0,15	54,18	42,54

Для флотации графита предложен реагент ВКП, являющийся кубовым остатком ректификации продуктов синтеза 2-этилгексанола из масляного альдегида. Реагент представляет подвижную жидкость от желтого до коричневого цвета. Плотность 0,854 кг/дм<sup>3</sup>; вязкость  $4,5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с; температура вспышки 351 К; замедления 329 К; начала кипения 513 К. Растворимость в воде 2 %.

## Состав реагента ВКП и массовая доля компонентов, %

Масляный альдегид .....	0,15
Изомасляный альдегид .....	0,08
Бутанол .....	0,20
Изобутанол .....	0,12
2-этилгексаналь .....	0,16
2-этилгексанол .....	14,12
Бутилформиат .....	9,44
Этилвалерант .....	7,87
Бутилбутират .....	0,81
Димеры 2-этилгексанола .....	26,13
Тримеры 2-этилгексанола .....	12,35

Из данных видно, что основными компонентами реагента ВКП являются 2-этилгексанол, его димеры и тримеры и сложные эфиры.

Результаты флотации графитовой руды с использованием реагента ВКП приведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что реагент ВКП заменяет Т-80 при расходе керосина  $0,25 \cdot 10^{-3}$  кг/т и обеспечивает повышение извлечения углерода в концентрат с 82,64 % до 85,79 % при одновременном снижении зольности с 43,72 % до 41,24 %.

Использование реагента ВКП на фабриках при флотации графитовых руд Тайгинского, Завальевского и Ботогольского месторождений позволило исключить из процесса Т-80, снизить расход керосина с 0,23 кг/т до 0,12 кг/т, с 0,396 кг/т до 0,197 кг/т и с 2,45 кг/т до 1,53 кг/т соответственно и повысить извлечение углерода в концентратах на 2,5 % и 0,71 % в случае переработки руд Тайгинского и Ботогольского месторождений. Одновременно зольность Тайгинского концентрата снизилась с 10,1 % до 9,3 %, а Ботогольского – с 6,96 % до 5,84 %.

Таблица 4

**Показатели флотации графитовой руды с использованием реагентов ВКП, осветительного керосина и Т-80**

Наименование и расход реагентов · 10 <sup>-3</sup> , кг/т			Извлечение углерода в концентрат, %	Зольность концентрата, %
Осветительный керосин	Т-80	ВКП		
0,25	0,16	–	82,64	43,72
0,25	–	0,16	85,79	41,24
0,15	–	0,16	83,81	40,04
0,10	–	0,16	78,34	37,27

Итак, эффективными собирателями для графита являются циркуляционный газойль, раствор крекинг-остатка и кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды и обладающие более высокой флотационной способностью по отношению к графиту, чем осветительный керосин.

Реагент ВКП, содержащий 2-этилгексанол, его димеры и тримеры, а также сложные эфиры, позволяет заменить Т-80 и снизить расход осветительного керосина при одновременном повышении технологических показателей флотации графитовых руд.

Альдегиды, кетоны и простые эфиры, имеющие низкую флотационную способность по отношению к графиту и содержащиеся в осветительном керосине, снижают его флотационную активность.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хан Г. А., Габриелова Л. И., Власова Н. С. Флотационные реагенты и их применение. М.: Недра, 1986. 271 с.
2. Vasumathi N., Vijaya Kumar T. V., Ratchambigai S., Subba Rao S., Bhaskar Raju G. Flotation studies on low grade graphite ore from Eastern India // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. Issue 3. P. 415–420.
3. Kaya Ö. M., Canbazoglu M. A study on the floatability of graphite ore from yozgat akdağmadeni (turkey) // The Journal of Ore Dressing. 2007. Vol. 9. Issue 17. P. 40–44.
4. Ханчук А. И., Диденко А. Н., Рассказов И. Ю., Бердников Н. В., Александрова Т. Н. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 3–12.
5. Hongqiang L. I., Leming O. U., Qiming Feng, Ziyong Chang. Recovery mechanisms of sericite in microcrystalline graphite flotation // Physicochem. Probl. Miner. Process. 2015, 51(2). P. 387–400.
6. Yangshuai Qiu, Yongfu Yu, Lingyan Zhang, Yupeng Qian, Zhijun Ouyang. An investigation of reverse flotation separation of sericite from graphite by using a surfactant: MF // Minerals, 2016, 6, 57. Doi:10.3390/min6030057.
7. Брагина В. И., Бакшеева И. И. Разработка технологии обогащения графитовых руд // ГИАБ. 2012. № 9. С. 133–137.
8. Dmitriev A., Basharin I., Bocharnikov V. Chemical purification of flakelike cryptocrystalline graphite powder // Annual World Conf. on Carbon 2011, Shanghai, China. Vol. 1. P. 180–182.
9. Дмитриев А. В., Бочарников В. А., Великоднева Е. Д., Башарин И. А. Химическое рафинирование чешуйчатого скрытокристаллического графита // Вестник Югорского государственного университета. 2014. Вып. 2 (33). С. 24–26.
10. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Горная книга, 2008. 710 с.

11. Grabowski B., Drzymala J. Graphite flotation in the presence of sodium acetate // *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia Wrocław Technical University*. Wrocław, Poland. 2008. Vol. LXIII, 6 sectio AA. P. 68–72.
12. Ravichandran V., Eswaraiiah C., Manisankar P. Beneficiation of low grade graphite ore deposits of Tamilnadu (India) // *Ultra Chemistry*. 2012. Vol. 8(2). P. 159–168.
13. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Kretov V. P., Levkovets S. E., Ryaboy I. V. Influence of the surface-active properties of the reagents containing sodium dialkyl-dithiophosphates on the flotation of sulfides // *Balkan Mineral Processing Congress*, 2015. Belgrade, June 17–19, 2015. Vol. 1. P. 321–326.
14. Чижевский В. Б. Физико-химические основы и интенсификация процесса флотации графитовых руд: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 1990. 416 с.
15. Чижевский В. Б. Флотационные свойства спиртов // *Обогащение руд*. 1988. № 3. С. 16–19.
16. Чижевский В. Б., Шавакулева О. П. Влияние магнитно-импульсной обработки на измельчаемость и обогатимость титано-магнетитовой руды // *Обогащение руд*. 2016. № 4. С. 3–10.

Поступила в редакцию 26 января 2018 года

## EFFECT OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF REAGENTS ON FLOTATION OF GRAPHITE

**Chizhevskii V. B., Fadeeva N. V., Gmyzina N. V.** – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, the Russian Federation. E-mail: magtu\_opt@mail.ru

Determination of the flotation activity of various reagents was carried out on a device for free flotation. It was found that high-molecular alkanes, alkenes and alkylbenzenes are the most flotation-active. Aldehydes, ketones and ethers are ineffective and their presence in kerosene will reduce the effectiveness of its action. There was made a classification of the studied reagents in accordance with the effectiveness of their action in flotation of graphite. As a result of the analysis of products of various productions, products containing mainly high molecular weight paraffinic and aromatic hydrocarbons have been accepted for research. The ore of the Taiginskoye deposit was used, its mineralogical analysis showed that the main minerals are quartz, feldspar and mica. It was established that the use of selected reagents – circulating gas oil, cracked residue solution and polyalkylbenzenes distillation residue, provides an increase of carbon extraction into the concentrate compared to using kerosene. The composition and flotation activity of the reagent-VKP was studied. The reagent is a full-fledged substitute for T-80 for flotation of graphite and provides a reduction in kerosene consumption. The use of VKP reagent in factories during the flotation of graphite ores from the Taiginskoye, Zavalievsky and Botogolskoye fields allowed to exclude the T-80 from process, to reduce the kerosene consumption and increase the carbon extraction in the concentrates.

**Key words:** graphite; hydrocarbons; reagents; flotation; carbon; ash content; retrieval.

### REFERENCES

1. Khan G. A., Gabriellova L. I., Vlasova N. S. *Flotatsionnye reagenty i ikh primeneniye* [Flotation reagents and their application]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 271p.
2. Vasumathi N., Vijaya Kumar T. V., Ratchambigai S., Subba Rao S., Bhaskar Raju G. Flotation studies on low grade graphite ore from Eastern India. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, vol. 25, issue 3, pp. 415–420.
3. Kaya Ö. M., Canbazoglu M. A study on the floatability of graphite ore from yozgat akdagmadeni (turkey). *The Journal of Ore Dressing*, 2007, vol. 9, issue 17, pp. 40 – 44.
4. Khanchuk A. I., Didenko A. N., Rasskazov I. Iu., Berdnikov N. V., Aleksandrova T. N. [Graphite shales as a prospective source of precious metals at the Far East of Russia]. *Vestnik DVO RAN – Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2010, no. 3, pp. 3–12. (In Russ.)
5. Hongqiang L. I., Leming O. U., Qiming Feng, Ziyong Chang. Recovery mechanisms of sericite in microcrystalline graphite flotation. *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 2015, 51(2), pp. 387–400.
6. Yangshuai Qiu, Yongfu Yu, Lingyan Zhang, Yupeng Qian, Zhijun Ouyang. An investigation of reverse flotation separation of sericite from graphite by using a surfactant: MF. *Minerals*, 2016, 6, 57. Doi:10.3390/min6030057.
7. Bragina V. I., Baksheeva I. I. [Development of graphite ore concentration technology]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2012, no. 9, pp. 133–137. (In Russ.)
8. Dmitriev A., Basharin I., Bocharnikov V. Chemical purification of flakelike cryptocrystalline graphite powder. Annual World Conf. on Carbon 2011, Shanghai, China, vol. 1, pp. 180–182.
9. Dmitriev A. V., Bocharnikov V. A., Velikodneva E. D., Basharin I. A. [Chemical refining of flaky cryptocrystalline graphite]. *Vestnik Iugorskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Yugra State University*, 2014, issue 2 (33), pp. 24–26. (In Russ.)
10. Abramov A. A. *Flotatsionnye metody obogashcheniia* [Flotation methods of concentration]. Moscow, Gornaia kniga Publ., 2008. 710 p.
11. Grabowski B., Drzymala J. Graphite flotation in the presence of sodium acetate. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia Wrocław Technical University*. Wrocław, Poland. 2008, vol. LXIII, 6 sectio AA, pp. 68–72.
12. Ravichandran V., Eswaraiiah C., Manisankar P. Beneficiation of low grade graphite ore deposits of Tamilnadu (India). *Ultra Chemistry*, 2012, vol. 8(2), pp. 159–168.

13. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Kretov V. P., Levkovets S. E., Ryaboy I. V. Influence of the surface-active properties of the reagents containing sodium dialkyl-dithiophosphates on the flotation of sulfides. Balkan Mineral Processing Congress, 2015. Belgrade, June 17–19, 2015, vol. 1, pp. 321–326.
  14. Chizhevskii V. B. *Fiziko-khimicheskie osnovy i intensivatsiia protsessa flotatsii grafitovykh rud: dis. d-ra tekhn. nauk* [Physical and chemical foundations and the intensification of the process of graphite ore flotation. Doc. eng. sci. diss.]. Magnitogorsk, 1990. 416 p.
  15. Chizhevskii V. B. [Spirits flotation properties]. *Obogashchenie Rud – Mineral Processing*, 1988, no. 3, pp. 16–19. (In Russ.)
  16. Chizhevskii V. B., Shavakuleva O. P. [The effect of pulse-magnetic processing of the grindability and dressability of titanomagnetite ore]. *Obogashchenie Rud – Mineral Processing*, 2016, no. 4, pp. 3–10. (In Russ.)
-