

3. Kieffer, R., & Schwarzkopf, P. V. (1957) *Tverdie splavi [Solid alloys]*.– Moscow: Metallurgizdat [in Russian].
4. Panov, V. S., Chuvilin, A.M., & Falkovsky, V. A. (2004). *Technologia spechennykh tverdikh splavov izdelii iz nikh [Technology and properties of sintered hard alloys and their products]*. Moscow: MISIS [in Russian].

УДК 621.539.921.34:622.24.051

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-396-401

**Н.А.Олейник, Г.Д. Ильницкая, Е.П.Виноградова,  
А.П. Загора**, кандидаты технических наук; **Г.А. Базалий,  
А.Л. Майстренко**, чл.-корр. НАН Украины; **В.Н. Ткач,  
Г.А. Петасюк**, доктора технических наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,  
04074, г. Киев, Украина, E-mail: oleynik\_nonna@ukr.net*

## **ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЧАСТИЦ АЛМАЗА ИЗ ШЛАМА ГОРНОЙ ПОРОДЫ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ АЛМАЗНОГО БУРОВОГО И КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

*Представлены результаты исследования шлама отработки песчаника Торезкого месторождения, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента. Установлена возможность извлечения частиц алмаза до 25 % массы шлама горной породы при снижении экологической нагрузки на окружающую среду за счет снижения расхода веществ первого класса опасности на 83,4 % и второго класса опасности на 12,6 %.*

**Ключевые слова:** алмазный буровой и камнеобрабатывающий инструмент, алмазные порошки, песчаник

В последние годы в мировой практике особое внимание уделяется обеспечению эколого-экономической безопасности государства. Поэтому ресурсосбережение во многих странах мира приобретает статус государственной политики. [1].

Постоянно возрастает спрос на абразивный инструмент, который содержит порошки синтетических алмазов (от высокопрочных шлифпорошков до микропорошков) и способен эффективно разрушать горные породы при геологоразведке, добыче твердых полезных ископаемых и камнеобработке. В процессе работы абразивный слой инструмента изнашивается. На поверхности хрупкого матричного материала, например, WC+Co; NiSn (6 %); Ni (70 %), Cu (20 %), Sn (10 %) в алмазном буровом инструменте образуются повреждения в виде микробороздок. Частицы алмаза, продукты разрушения матричного материала и горной породы образуют шлам [2]. В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан спектр ресурсосберегающих технологий переработки продуктов синтеза и изготовления порошков синтетического алмаза. В сравнении с базовыми процессами, технологии имеют преимущества. Применение технологий обеспечивает возрастание извлечения алмаза на 0,3–0,5 %; снижение в 10–12 раз (по массе) расхода веществ I–III класса опасности; исключение залповых выбросов высокотоксичных окислов азота и уменьшение количества отходов, подлежащих захоронению, а также сокращение времени контакта человека с вредными веществами [3, 4]. Однако, невзирая на усовершенствования, в процессе переработки продуктов синтеза алмаза образуются растворы, содержащие кислоты и хлориды тяжелых металлов, а также окислы трех- и

шестивалентного хрома, которые подлежат нейтрализации и обезвреживанию веществами IV класса опасности, а также захоронению твердых отходов [5].

Процессы извлечения алмазного сырья из продуктов синтеза, полученных в различных ростовых системах, и изготовления порошков вносят значительный вклад в стоимость порошков, а также оказывают экологическую нагрузку на окружающую среду.

Поэтому исследования процессов извлечения алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента, имеют практическое, экономическое и экологическое значение.

Цель настоящей работы – определение возможности и экологических характеристик извлечения частиц алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента.

### Методика

Для проведения исследований по извлечению частиц алмаза использовали шлам, полученный при точении керна песчаника Торезского месторождения IX категории буримости цилиндрическим породоразрушающим элементом диаметром 10 мм на специальном стенде [6]. Экспериментальный породоразрушающий элемент был получен методом электроспекания и оснащен алмазами марки AC160T с ионно-плазменным покрытием TiC в матрице NiSn (6 %).

Собранный в результате отработки алмазного инструмента шлам стадийно обрабатывали, удаляя металлосодержащие фазы, входящие в состав горной породы и составляющие матричного материала породоразрушающего элемента, а также провели термохимическое жидкофазное окисление.

Образцы исследовали на различных стадиях обработки. Устанавливали количественное содержание алмаза в шламе, расход химических реактивов для извлечения частиц алмаза и обезвреживания образовавшихся стоков. Элементный состав осадков исследовали микрорентгеноспектральным анализом с помощью электронного сканирующего микроскопа «Zeiss EVO 50 XVP». Морфометрические характеристики продуктов разрушения горной породы и изнашивания породоразрушающего алмазного инструмента устанавливали с помощью микроскопа DiaInspect OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH.

### Результаты и их обсуждение

Результаты СЭМ исследований образцов после растворения металлосодержащих фаз и термохимического жидкофазного окисления приведен на рис. 1, 2.

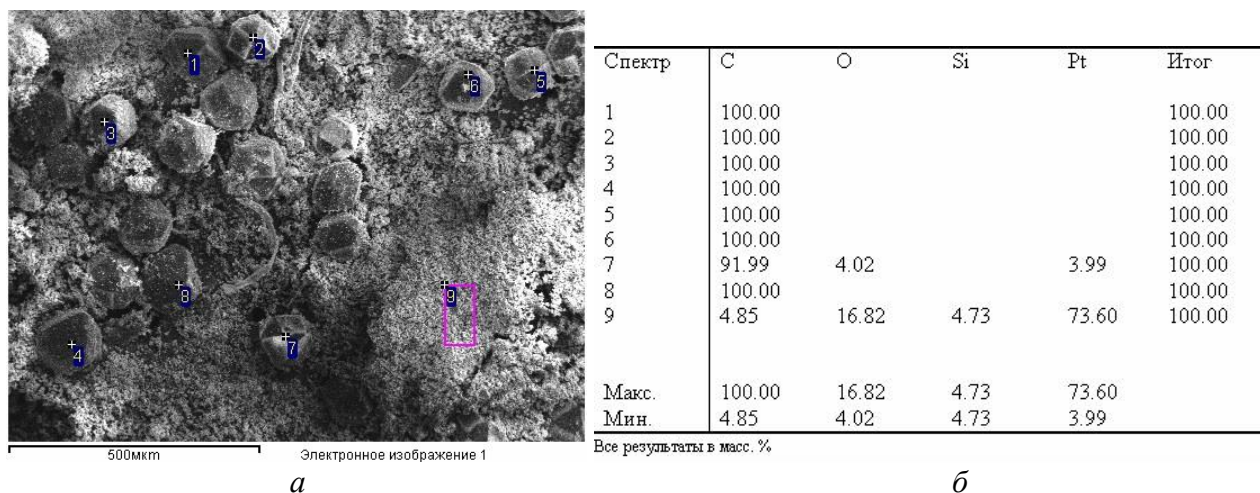
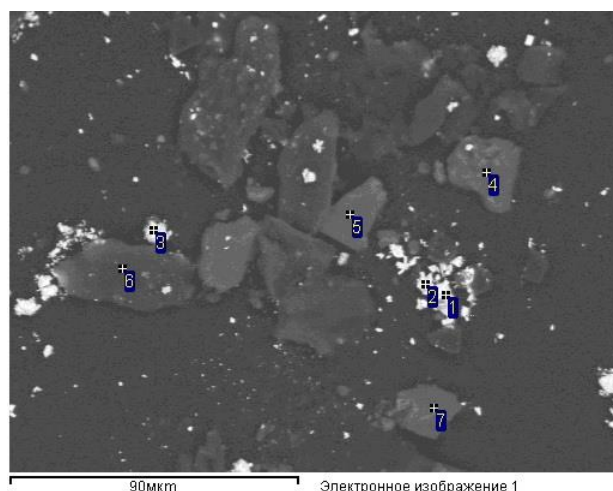


Рис. 1. СЭМ изображение (а) и элементный состав (б) осадка после растворения металлосодержащих фаз



*a*

Точка	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Pt	Итого
1	16.22	19.83	0.28	0.77	0.15	0.48	0.57	0.23	0.36	1.20	1.17	58.75	100.00
2	8.78	21.65	0.41	0.47	0.00	0.54	0.48	0.11	0.33	0.33	1.29	65.63	100.00
3	9.34	18.01	0.34	0.46	0.00	0.02	0.54	0.09	0.22	0.45	1.41	69.11	100.00
4	6.99	52.77	0.24	0.42	39.29	0.00	0.11	0.05	0.00	0.00	0.08	0.05	100.00
5	12.99	46.96	0.00	0.00	39.56	0.07	0.11	0.00	0.00	0.09	0.23	0.00	100.00
6	67.82	19.00	1.76	0.15	0.26	1.22	6.33	1.71	0.40	0.09	0.46	0.78	100.00
7	24.80	51.45	0.06	0.02	23.41	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	0.13	0.06	100.00
Макс.	67.82	52.77	1.76	0.77	39.56	1.22	6.33	1.71	0.40	1.20	1.41	69.11	
Мин.	6.99	18.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	

Все результаты в масс. %

*б*

Рис. 2. СЭМ изображение (а) и элементный состав (б) осадка после термохимического жидкофазного окисления

Как видно из рис. 1 а, в осадке присутствуют кристаллы (в виде октаэдров и кубооктаэдров). Микрорентгеноспектральный анализ показал, что элементный состав их поверхности представлен только углеродом, рис. 2 б.

Из шлама были извлечены частицы алмаза. Их содержание в шламе составило 20–25 масс. %.

В процессе работы определен расход химических реактивов 1-го и 2-го класса опасности для извлечения алмаза из шлама. В результате сравнения с расходом реагентов для извлечения алмазного сырья из продуктов синтеза, который принят за 1 усл. ед./1000 карат, установлено, что расход реактивов при извлечении частиц алмаза из шлама составляет: вещества 1-го класса опасности – 0,16 усл. ед., вещества 2-го класса опасности – 0,87 усл. ед.

Результаты исследования осадка шлама после термохимического жидкофазного окисления показали, что осадок содержит частицы, содержащие кремний до 39 масс. % и кислород 19–47 масс. % (рис. 3 а, точки 4, 7).

Предположительно, это частицы оксида кремния (SiO<sub>2</sub>), которые являются самостоятельными частицами кварца, отделенными от блока песчаника [7], либо остовы более крупных частиц после термохимического окисления.

В результате морфометрических исследований характеристик частиц осадка шлама после термохимического жидкофазного окисления с помощью микроскопа DiaInspect OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH установлено, что частицы распределяются в интервале размеров 20–80 мкм.

С использованием отдельных морфометрических характеристик была проведена автоматизированная идентификация формоподобия проекции частиц шлама методом, изложенным в работе [8]. Анализ результатов этого исследования показал, что преобладающее количество частиц – 46,16 % имеет форму треугольника, в то время, как форму прямоугольника имеет 22 % частиц, трапеции – 16,33 %, квадрата – 9,53 %, правильного шестиугольника – 5,46 %, параллелограмма – 0,15, окружности и эллипса – 0,1 %.

Кроме того, эквивалентный диаметр наибольшего количества частиц в пробе соответствует 25 мкм, что согласуется с размером частиц треугольной формы, представленных на рис. 2 а точки 4, 7.

Известно, что кварц имеет твердость по шкале Мооса – 7 [9]. Соответственно, частицы кварца могут существенно влиять на износ алмазосодержащего слоя инструмента, а также на экологические характеристики извлечения частиц алмаза из шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента.

#### **Выводы**

1. Определена возможность извлечения частиц алмаза в количестве не более 25 % массы шлама горной породы, образующегося в процессе работы алмазного бурового и камнеобрабатывающего инструмента. Качество частиц алмаза, его характеристики, возможность повторного использования предстоит изучить в дальнейшем.

2. Извлечение частиц алмаза из шлама снизит экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения расхода веществ: первого класса опасности на 83,4 % и второго класса опасности на 12,6 %.

*Наведено результати дослідження шламу відпрацювання пісковіку Торезького родовища, що утворюється в процесі роботи алмазного бурового і камнеобробного інструменту. Встановлено можливість вилучення частинок алмазу до 25 % маси шламу гірської породи при зниженні екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок зниження витрат речовин першого класу небезпеки на 83,4 % і другого класу небезпеки на 12,6 %.*

**Ключові слова:** алмазний буровий і камнеобробний інструмент, алмазні порошки, пісковик

**N. Oliinyk, G. Ilitska, O. Vynohradova, A. Zakora, G. Bazaliy,  
A. Maistrenko, V. Tkach, G. Petasyuk**

*V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine*

#### **RESOURCE-SAVING ISSUES WHEN RECOVERING DIAMOND PARTICLES FROM ROCK SLUDGE, WHICH WAS FORMED DURING THE OPERATION OF THE DIAMOND DRILLING AND STONE-WORKING TOOL**

*The paper presents the results of the study of waste processing sandstone from the Torez field by diamond drilling and stone-working tools.*

*The possibility of extracting diamond particles up to 25 % of the mass of sludge from rocks while reducing the burden on the environment by reducing the consumption of substances of the first class of hazard by 83.4 % and the second class of hazard by 12.6 % was established.*

**Key words:** diamond tools for drilling and processing of stone, diamond powders, sandstone

## Литература

1. Чердакова М. П. Ресурсосбережение как государственная политика // Вестник Чувашского университета. – 2013. – № 4. – С. 432–435.
2. Исследование возможности повреждения матрицы бурового алмазосодержащего инструмента движущимися частицами шлама / Е. Виноградова, А. Майстренко, Г. Ильницкая, Н. Олейник и др. // Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы XIX Международного научно-технического семинара (18–22 февраля 2019 года, г. Кошице). – Киев: АТМ Украины, 2019. – С.13–16.
3. Богатырева Г. П., Олейник Н. А., Базалий Г. А. и др. Извлечение алмазов из продуктов синтеза // Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н. В. Новикова. Том 1: Синтез алмаза и подобных материалов / Отв. ред. А.А. Шульженко. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля. ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003. – С. 298–309.
4. Современные технологии повышения экологической безопасности переработки порошков сверхтвердых материалов / Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая, Н. А. Олейник и др. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 6. – С. 65–69.
5. Гринь Г. И., Семенов Е. А., Козуб П. А. Вопросы ресурсосбережения в производстве синтетических алмазов [Электронный ресурс] – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – С.180–182. – Режим доступа: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30229/4/Grin\\_Voprosy\\_resursosberezheniya\\_2004.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/30229/4/Grin_Voprosy_resursosberezheniya_2004.pdf)
6. Інтенсивність зношування породоруйнівних елементів з КАМ залежно від хімічного складу та способу нанесення покриттів на алмазні зерна / А. Л. Майстренко, А. П. Загора, Р. С. Шмегера и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – Вып. 20. – С. 469–481.
7. Виноградова О. П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09 – Київ, 2015. – 195 с.
8. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. – 2014. – V. 264. – P. 78–85.
9. Кварц [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кварц>.  
*Поступила 23.05.19*

## References

1. Cherdakova, M. P. (Eds.). (2013). Resursosberezhenie kak gosudarstvennaya politika [Resource Saving as a State Policy]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta – Bulletin of Chuvash University*, 4, 432–435 [in Russian].
2. Vinogradova, Ye., Maystrenko, A., Oliinyk, N., et al. (2019). Issledovanie vozmozhnosti povrezhdeniya matritsy burovogoalmazosoderzhashchego instrumenta dvizhushchimisya chastitsami shlama [Study of the possibility of damage to the diamond-boring diamond-containing tool by moving sludge particles]. *Modern issues of production and repair in industry and transport '19: XIX Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskiy seminar (18–22 fevralya 2019 hoda, g. Koshitse)*. – *XIX International Scientific and Technical Seminar*. (pp.13–16). – Kiev: АТМ Украины. [in Russian].
3. Bogatyreva, G. P., Oliinyk, N. A., Bazaliy, G.A., et al. (2003). Extraction of diamonds from products of synthesis. *Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie [Superhard*

