


УДК: 669.5/.6:669.054.8:669.8

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.32

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫХ ШЛАМОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



**Мирзанова Зулфизар  
Анваржановна**

Ведущий инженер технического  
отдела Дирекции по  
строительству  
металлургического комплекса АО  
«Алмалыкский горно-  
металлургический комбинат»,  
Алмалык, Узбекистан  
E-mail: [za.mirzanova@agmk.uz](mailto:za.mirzanova@agmk.uz)  
ORCID ID: 0009-0000-6907-3900  
Science ID: FTV1225-0066



**Эшонкулов Учқун  
Худайназар угли**

PhD, заведующий кафедрой  
геологии и горного дела  
Каршинского государственного  
технического университета,  
Карши, Узбекистан  
E-mail:  
[uchqun.eshonqulov91@mail.ru](mailto:uchqun.eshonqulov91@mail.ru)  
ORCID ID: 0009-0002-8415-7218  
Science ID: FQD-0225-0022



**Ваккасов Бахтияр  
Абдураимович**

Директор МПЗ, АО  
«Алмалыкский горно-  
металлургический комбинат»,  
Алмалык, Узбекистан  
E-mail: [b.vakkasov@agmk.uz](mailto:b.vakkasov@agmk.uz)  
ORCID ID: 0009-0006-0888-7824  
Science ID: BTV-0626-0034

**Аннотация.** В статье представлены результаты комплексного исследования свинцово-висмутовых шламов, образующихся при сернокислотном производстве в металлургии меди. Проведен анализ физико-химических свойств шлама, включая влажность, гранулометрический состав, плотность и кислотность среды. Установлено, что шлам содержит значительные количества свинца, висмута, меди, цинка и благородных металлов, что определяет его промышленную ценность как вторичного сырья. Разработана и экспериментально обоснована эффективная гидрометаллургическая технология переработки, включающая стадии водной промывки, солевого выщелачивания, карбонизации и термической обработки. Показано, что при оптимальных параметрах процесса достигается селективное извлечение свинца в раствор с сохранением благородных металлов в твердой фазе. Получен карбонат свинца с последующим преобразованием в металлический свинец высокой чистоты. Предложенная технология обеспечивает комплексное использование сырья, снижение экологической нагрузки и повышение ресурсной эффективности металлургического производства.

**Ключевые слова:** свинцово-висмутовый шлам, выщелачивание, карбонизация, свинец, благородные металлы, переработка.

Received: 25.06.2026

Accepted: 29.06.2026

Published: 29.06.2026

## METALLURGIYA ISHLAB CHIQRISHI QO‘RG‘OSHIN-VISMUT SHLAMLARINI SELEKTIV ERITISH VA QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASI

**Mirzanova Zulfizar  
Anvarjonovna**

*“Olmaliq kon-metallurgiya  
kombinati” AJ, Metallurgiya  
majmuasi qurilish direksiyasi texnik  
bo’limi yetakchi muhandisi,  
Olmaliq, O’zbekiston*

**Eshonqulov Uchqun  
Xudoynazar o’g’li**

*PhD, Qarshi davlat texnika  
universiteti, Geologiya va konchilik  
ishi kafedrasini mudiri, Qarshi,  
O’zbekiston*

**Vakkasov Baxtiyor  
Abdurahimovich**

*“Olmaliq kon-metallurgiya  
kombinati” AJ, Misni qayta ishlash  
zavodi (MPZ) direktori, Olmaliq,  
O’zbekiston*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada mis metallurgiyasining sulfat kislotada ishlab chiqarish jarayonida hosil bo’ladigan qo’rg’oshin–vismut shlamlarini kompleks tadqiq etish natijalari keltirilgan. Shlamning namligi, granulometrik tarkibi, zichligi va muhit kislotaliligi kabi fizik-kimyoviy xossalari tahlil qilindi. Tadqiqotlar natijasida shlam tarkibida qo’rg’oshin, vismut, mis, rux hamda qimmatbaho metallar sezilarli miqdorda mavjudligi aniqlanib, uning ikkilamchi xomashyo sifatidagi sanoat ahamiyati asoslandi. Shlamni qayta ishlash uchun suvda yuvish, tuz eritmasida selektiv eritish, karbonizatsiya va termik ishlov berish bosqichlarini o’z ichiga olgan samarali gidrometallurgik texnologiya ishlab chiqildi. Jarayonning maqbul parametrlarida qo’rg’oshinning eritmaga selektiv o’tishi va qimmatbaho metallarning qattiq fazada saqlanib qolishi ta’minlandi. Natijada yuqori tozalikdagi metall qo’rg’oshin olish imkoniyati yaratildi. Taklif etilgan texnologiya metallurgiya chiqindilaridan kompleks foydalanish, ekologik yuklamani kamaytirish va resurslardan samarali foydalanishni ta’minlaydi.

**Kalit so’zlar:** qo’rg’oshin–vismut shlami, selektiv eritish, karbonizatsiya, qo’rg’oshin, qimmatbaho metallar, gidrometallurgiya, qayta ishlash.

## TECHNOLOGY OF SELECTIVE LEACHING AND PROCESSING OF LEAD– BISMUTH SLUDGES FROM METALLURGICAL PRODUCTION

**Mirzanova Zulfizar  
Anvarjonovna**

*Lead Engineer, Technical  
Department, Directorate for the  
Construction of the Metallurgical  
Complex, JSC “Almalyk Mining  
and Metallurgical Combine”,  
Almalyk, Uzbekistan*

**Eshonkulov Uchkun  
Khudoynazar ugli**

*PhD, Head of the Department of  
Geology and Mining, Karshi State  
Technical University, Karshi,  
Uzbekistan*

**Vakkasov Bakhtiyor  
Abdurahimovich**

*Director of the Copper Smelter  
(MPZ), JSC “Almalyk Mining and  
Metallurgical Combine”, Almalyk,  
Uzbekistan*

**Abstract.** This paper presents the results of a comprehensive study of lead–bismuth sludges generated during sulfuric acid production in copper metallurgy. The physicochemical properties of the sludge, including moisture content, particle size distribution, density, and acidity, were investigated. The results confirmed the presence of significant amounts of lead, bismuth, copper, zinc, and precious metals, demonstrating the industrial value of the sludge as a secondary raw material. An efficient hydrometallurgical processing technology was developed, incorporating water washing, selective salt leaching, carbonation, and thermal treatment. Experimental studies showed that, under optimal operating conditions, lead was selectively transferred into solution while precious metals remained in the solid residue. High-purity metallic lead was subsequently obtained from the produced lead carbonate. The proposed technology promotes comprehensive utilization of metallurgical waste, reduces environmental impact, and improves resource efficiency.

**Keywords:** lead–bismuth sludge, selective leaching, carbonation, lead, precious metals, hydrometallurgy, processing.

**Введение.** Переработка и утилизация отходов металлургического производства рассматриваются как один из ключевых факторов обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования в условиях индустриального развития.

Металлургическая отрасль относится к числу наиболее ресурсоемких и экологически нагруженных секторов промышленности, формирующих значительные объемы твердых и дисперсных отходов [7]. В их состав входят шлаки, пылевые фракции, шламы и другие

техногенные образования, содержащие широкий спектр токсичных и потенциально опасных компонентов, способных оказывать негативное воздействие на почвенные, водные и атмосферные экосистемы, а также на здоровье населения [2, 5].

В связи с этим формирование эффективной системы обращения с отходами металлургического производства приобретает приоритетное значение. Научно обоснованные подходы к переработке и утилизации данных отходов направлены не только на снижение уровня экологической нагрузки, но и на вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот. Технологические процессы переработки предусматривают физико-химическую обработку отходов с целью получения ценных компонентов и создания новых материалов, что способствует сокращению объемов захоронения и уменьшению потребности в первичном сырье [10]. Таким образом, интеграция методов утилизации и вторичного использования отходов является важным направлением повышения ресурсной эффективности и экологической устойчивости металлургического производства.

**Материалы и методы.** В металлургическом производстве меди значительное количество газообразных продуктов направляется на последующую переработку с целью получения серной кислоты. Образующийся технологический газ первоначально поступает в промывное отделение, где осуществляется его многоступенчатая очистка от твердых и растворимых примесей. Очищенный газ далее используется в контактном процессе синтеза серной кислоты. При этом улавливаемые примеси переходят в состав шламов, которые формируются в результате газоочистки [1].

Полученные шламы направляются на участок нейтрализации кислых сточных вод, после чего аккумулируются в специальных накопителях. В дальнейшем данные отходы транспортируются и складываются на территории металлургического предприятия. Длительная эксплуатация сернокислотного цеха привела к накоплению значительных объемов шламовых отходов, характеризующихся

повышенным содержанием тяжелых металлов и ценных компонентов, таких как свинец, висмут, медь и благородные металлы [6, 9].

Химический состав исследуемых шламов определялся с использованием стандартных методов аналитической химии, включая атомно-абсорбционный и гравиметрический анализ. Средние значения содержания основных компонентов представлены в таблице 1.

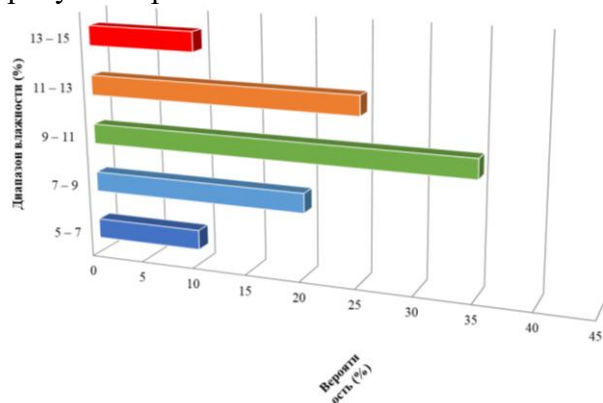
Таблица 1.

**Среднее содержание шлама производства серной кислоты**

| Компонент | Содержание, % |     |     |                  |                  |     |      |     | г/т  |         |
|-----------|---------------|-----|-----|------------------|------------------|-----|------|-----|------|---------|
|           | Pb            | Cu  | Zn  | S <sub>общ</sub> | S <sub>SO4</sub> | MgO | CaO  | Bi  | Au   | Ag      |
| СВШ       | 45,0          | 2,6 | 0,4 | 11,0             | 8,1              | 0,1 | 1,23 | 0,4 | 5-10 | 250-400 |

**Результаты и их обсуждение.**

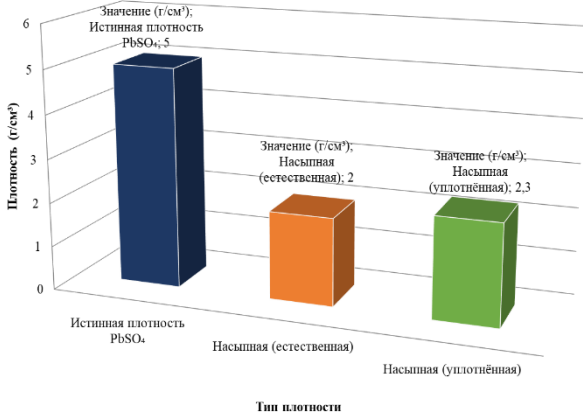
Исследуемый свинцово-висмутовый шлам (СВШ) характеризуется рядом физико-химических параметров, определяющих особенности его переработки. Влажность материала составляет в среднем 10–12 %, при этом в зависимости от сезонных условий возможны колебания в диапазоне 5–15 %. Исходная дисперсность шлама находится в пределах 0–20–30 мкм, однако в процессе длительного хранения в накопителях и естественной сушки происходит агломерация частиц с образованием агрегатов размером от 1 до 300 мкм, что приводит к неравномерности гранулометрического состава.



**Рис.1. Вероятностное распределение влажности свинцово-висмутового шлама.**

Минералогический состав шлама представлен преимущественно тонкодисперсным сульфатом свинца (PbSO<sub>4</sub>), образующимся в виде возгонов при охлаждении технологических газов [12]. Истинная плотность

PbSO<sub>4</sub> составляет около 5 г/см<sup>3</sup>, тогда как насыпная плотность шлама в естественном состоянии достигает 2 г/см<sup>3</sup>, а при уплотнении — до 2,3 г/см<sup>3</sup>. Водородный показатель среды варьируется в пределах pH=2,5–3,5, что свидетельствует о кислой природе материала, обусловленной присутствием серной кислоты.



**Рис.2. Истинная и насыпная плотность PbSO<sub>4</sub> в свинцово-висмуте шламе.**

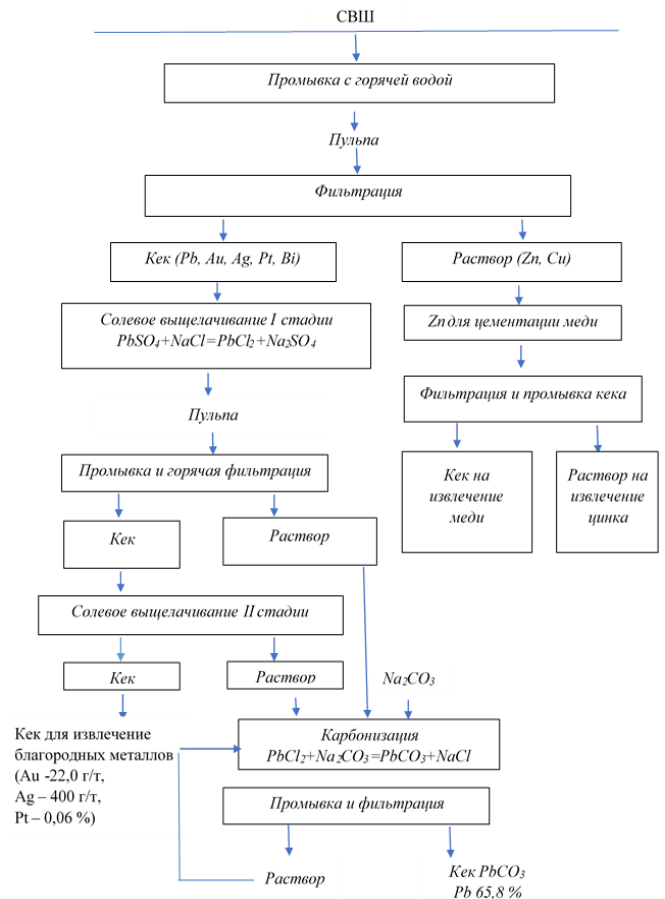
В качестве объекта исследования использовался свинцово-висмутый шлам сернокислотного производства с химическим составом, приведенным в таблице 1, а также с промышленно значимым содержанием благородных металлов, в частности золота и серебра.

Полученные результаты подтверждают целесообразность комплексной переработки данного техногенного сырья [13, 15].

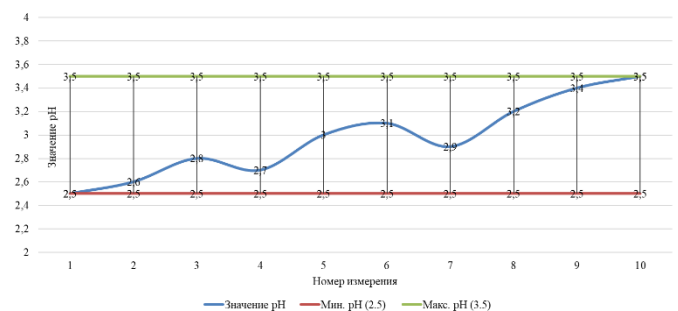
В ходе исследований разработана технологическая схема переработки СВШ, направленная на получение очищенного карбоната свинца, пригодного для дальнейшего получения металлического свинца без стадии дополнительного рафинирования [8, 11]. Процесс включает последовательные стадии кислотного выщелачивания, горячей водной промывки, двухстадийного солевого выщелачивания, карбонизации, термической обработки и восстановительной плавки. Технологическая схема переработки свинцово-висмутевого шлама (рисунок 2).

Далее технологический процесс реализуется следующим образом. Для извлечения меди и цинка в раствор применялась горячая водная промывка при температуре 60–90 °С в течение 2 часов при соотношении твердого и

жидкого фаз Т:Ж=1:3. Промывка осуществлялась до достижения pH=5,5–6,0 при температуре около 80 °С. В результате формировался продуктивный раствор с концентрацией меди до 6 г/л и цинка до 20 г/л, пригодный для последующего извлечения данных металлов.



**Рис.3. Технологическая схема получение карбоната свинца.**

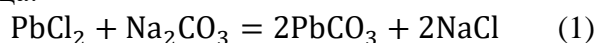


**Рис.4. Изменение значений pH шлама по сериям измерений.**

Оставшийся после промывки твердый остаток подвергался двухстадийному солево-му выщелачиванию с использованием растворов хлорида натрия концентрацией 250 и 150 г/л

соответственно. Процесс проводился при температуре 90–95 °С, продолжительность каждой стадии составляла 2 часа при соотношении Т:Ж=1:3. После выщелачивания пульпа подвергалась фильтрации с целью отделения нерастворимых компонентов. Экспериментальные исследования позволили установить оптимальные параметры процесса, обеспечивающие максимальное извлечение свинца в раствор.

Полученный раствор хлорида свинца подвергался стадии карбонизации с использованием кальцинированной соды при доведении рН среды до 8,5–9. В результате протекала реакция образования карбоната свинца:



После карбонизации суспензия фильтровалась, при этом жидкая фаза возвращалась в оборотный цикл, что повышает ресурсную эффективность процесса. Осадок карбоната свинца подвергался прокатке при температуре 450 °С с образованием оксида свинца (глёта). Далее глёт в присутствии восстановителя (графита) и флюсов направлялся на восстановительную плавку, в результате

которой получен металлический свинец с содержанием основного компонента 99,06 %.

Твердые остатки, образующиеся после солевого выщелачивания и содержащие благородные металлы, могут быть направлены либо на переработку в составе медного штейна, либо подвергнуты дополнительному гидрометаллургическому извлечению золота и серебра, что подтверждает комплексный характер разработанной технологии [3, 14].

**Заключение.** Проведенные исследования показали, что солевое выщелачивание при температуре 60–80 °С, соотношении Т:Ж=1:3 и продолжительности 2–4 часа обеспечивает селективное извлечение свинца при сохранении кварца и благородных металлов в твердой фазе, при этом повышение температуры способствует увеличению степени его растворения. На основе полученных результатов разработана эффективная технология переработки свинцово-висмутового шлама сернокислотного производства, обеспечивающая высокое извлечение ценных компонентов и характеризующаяся улучшенными технико-экономическими показателями, что подтверждает ее промышленную перспективность.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Саидахмедов, А. А., Хасанов, А. С., & Мирзанова, З. А. (2020). Технология переработки техногенных отходов цветной металлургии. Ташкент: Фан.
- [2] Хасанова, А. С., Умаралиев, И. С., & Саидахмедов, А. А. (2024). Переработка продуктов газоочистки медного производства. Навои.
- [3] Мирзанова, З. А., Муносибов, Ш. М., & Рахимжонов, З. Б. (2019). Гидрометаллургические методы извлечения цветных металлов из отходов. Ташкент: ТГТУ.
- [4] Каримова, Ш. К., Ташалиев, Ф. У., & Каршибоев, Ш. Б. (2021). Комплексная переработка техногенных отходов металлургии. Самарканд.
- [5] Юсупов Б.Т., Абдуллаев Х.А. Основы переработки шламов металлургических производств // Ташкент, 2018, С. 140–158.
- [6] Туляганов А.А., Рузиев Ш.У. Технология извлечения свинца из вторичных сырьевых ресурсов // Ташкент, 2022, С. 55–73.
- [7] Саидахмедов А.А., Мирзанова З.А. Исследование процессов солевого выщелачивания свинцовых шламов // Журнал «Горный вестник Узбекистана», 2021, №3, С. 45–50.
- [8] Хасанов А.С., Умаралиев И.С. Технологические особенности переработки сернокислотных шламов // Журнал «Цветные металлы Центральной Азии», 2022, №2, С. 30–36.
- [9] Абдурахманов Н.М., Тошпулатов Б.А. Экологические аспекты переработки промышленных отходов // Ташкент, 2017, С. 90–104.
- [10] Рахимов К.Д., Каримов Д.С. Современные методы извлечения благородных металлов из техногенного сырья // Ташкент, 2020, С. 118–135.

- [11] Норматов Ш.Р., Исмоилов А.Б. Комплексное использование минерального сырья и отходов // Ташкент, 2019, С. 72–89.
- [12] Турсунов Б.М., Ходжаев Р.С. Гидрометаллургия цветных металлов // Ташкент, Фан, 2016, С. 200–230.
- [13] Саидахмедов А.А., Хасанова А.С. Разработка технологий извлечения металлов из пылей и шламов // Журнал «Инновации в металлургии», 2023, №1, С. 22–28.
- [14] Абдуллаев Ш.А., Юлдашев Ф.Х. Физико-химические основы переработки техногенных материалов // Ташкент, 2018, С. 150–168.
- [15] Рузиев Ш.У., Мирзаев А.К. Переработка отходов металлургического производства и повышение их ресурсной эффективности // Ташкент, 2021, С. 95–110.

---

**Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article**

Мирзанова, З. А., Эшонкулов, У. Х., & Ваккасов, Б. А. (2026). Технология селективного выщелачивания и переработки свинцово-висмутовых шламов металлургического производства. Цифровые технологии в промышленности, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.32>

---