



Global Conference on Multidisciplinary Research and Innovation

Hosted Online from Berlin, Germany

Date: 2nd June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

ПЕРЕРАБОТКА СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ СЛОЖНОГО СОСТАВА В АЗОТНОЙ КИСЛОТЕ

Иботов Б.О.

Базовый докторант Навоийского государственного
горно-технологического университета
boburibotov876@gmail.com

Аннотация

На сегодняшний день во всем мире уделяется особое внимание переработке упорных золотосодержащих руд и концентратов. Разрабатываются новые методы и технологические решения для повышения общей степени извлечения основного металла и снижения затрат на переработку с целью уменьшения себестоимости продукции. Также особое внимание уделяется комплексному использованию сырья и получению дополнительной продукции. В связи с этим разработка эффективных технологий и совершенствование существующих схем переработки для повышения степени извлечения ценных компонентов при комплексном использовании сырья является одной из актуальных задач науки и практики в горно-металлургической промышленности.

Ключевые слова. Руда, сульфидный концентрат сложного состава, азотнокислотная переработка, минерал, физико-химические закономерности, элементарная сера, кек.

Annotation

Currently, significant global attention is being directed toward the processing of refractory gold-bearing ores and concentrates. New methods and technological



Global Conference on Multidisciplinary Research and Innovation

Hosted Online from Berlin, Germany

Date: 2nd June, 2026

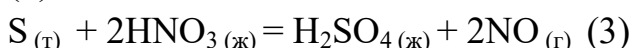
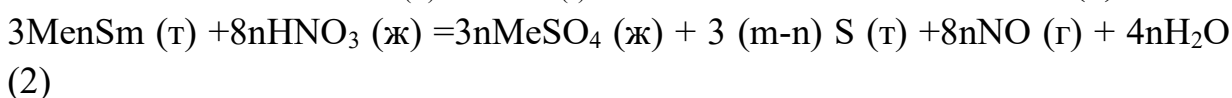
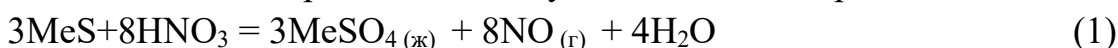
Website: <https://econferencia.com>

solutions are being developed to increase the overall recovery of the primary metal and to lower processing costs, thereby reducing the final product cost. Special emphasis is also placed on the comprehensive utilization of raw materials and the generation of additional products. In this regard, developing effective technologies and refining existing processing flowsheets to enhance the recovery of valuable components through the comprehensive use of raw materials is one of the most pressing challenges for both science and practice in the mining and metallurgical industry.

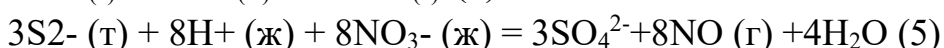
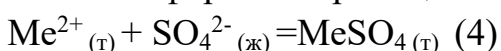
Keywords. Ore, complex sulfide concentrate, nitric acid processing, mineral, physicochemical patterns, elemental sulfur, cake.

Использование растворов азотной кислоты при селективном выщелачивании сульфидных концентратов сложного состава характеризуется высокими значениями окислительного потенциала, что выгодно отличает азотную кислоту от широко распространенных сульфатных и хлоридных реагентов [1, с. 14].

При азотнокислотном селективном выщелачивании сульфидных концентратов сложного состава с последующей регенерацией азотной кислоты в целом происходят следующие типичные реакции:



в ионной форме на границе твердой и жидкой фаз:





Global Conference on Multidisciplinary Research and Innovation

Hosted Online from Berlin, Germany

Date: 2nd June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

Остаются нерешенными вопросы полноты вскрытия сульфидных минералов, образования элементарной серы, взаимного влияния различных сульфидов при совместном окислении, улавливания нитрозных газов и многие другие, что в настоящее время не позволяет использовать азотнокислотные процессы в промышленности [2, с. 102].

Для решения этих проблем проводится всестороннее изучение физико-химических закономерностей процесса азотнокислотного вскрытия сульфидных минералов цветных металлов сложного состава с разработкой энергосберегающей и экологически эффективной гидрометаллургической технологии гидрохимического окисления полиметаллического сульфидного сырья, переработкой кеков процесса селективного выщелачивания с извлечением благородных металлов, получением товарных цветных металлов и утилизацией токсичных отходов.

Азотнокислотный метод вскрытия золото- и серебросодержащих концентратов предусматривает их разложение в присутствии окислителя – кислорода, при этом азотная кислота выступает в качестве гомогенного катализатора. В раствор переходят железо, сера, мышьяк, а золото высвобождается из сульфидной матрицы пирита и арсенопирита и накапливается в кеке. Выделяющиеся оксиды азота направляются на регенерацию азотной кислоты [3, с. 148].

Авторы осуществили процесс вскрытия золото-мышьяковых материалов путем барботирования воздуха через пульпу в течение 2-3 часов при концентрации азотной кислоты 150-200 г/дм³, соотношении Т:Ж=1:5 и температуре 75-85 °С. В результате в раствор переходит 92-96% серы, 98% мышьяка и 97% железа. Извлечение золота при цианировании составило 92-94%, а при совместной плавке с медным концентратом — 96-98%. Кислотный раствор, содержащий азотную кислоту, железо, мышьяк и серу,



Global Conference on Multidisciplinary Research and Innovation

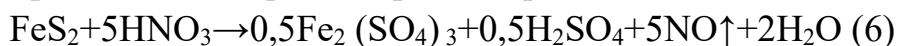
Hosted Online from Berlin, Germany

Date: 2nd June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

подвергали отпарке при температуре 350 °С с целью регенерации азотной кислоты. Твердый остаток прокаливали при 650-700 °С, получая при этом арсенат железа. Расход азотной кислоты составил 0,1-0,3 т на 1 т концентрата [4; с. 23-25]. Расход азотной кислоты составил 0,1-0,3 т на 1 т концентрата [4; Известные за рубежом технологии Nitrox Process® и Arseno Process® основаны на вскрытии золото- и серебросодержащих сульфидных концентратов в азотнокислотной среде, что представляет собой последовательность следующих стадий [5; с. 452]:

- разложение пирита и арсенопирита:



- образовавшийся монооксид азота NO окисляется до диоксида NO₂, который, в отличие от NO, не обладает высокой растворимостью в водных растворах.

NO до NO₂ с последующей регенерацией азотной кислоты может осуществляться как в отдельной емкости вне реактора (процесс Nitrox), так и в самом реакторе селективного выщелачивания (процесс Arseno).

Процесс Nitrox проводится при температуре 90 °С и длится 1-2 часа. Окисленная пульпа нейтрализуется до pH=4, в результате чего почти все растворенные металлы выпадают в осадок. В фильтрат, содержащий Ca(NO₃)₂, подают новые порции концентрата для осаждения гипса, после чего нитратный раствор возвращают на селективное выщелачивание [6; 84-85-с.]. Также был рассмотрен вариант фильтрации пульпы перед её нейтрализацией, после чего фильтрат направлялся на осаждение гипса. В этом случае образовывалось небольшое количество осадка с высоким содержанием золота, что позволяло направить его на плавку. Извлечение золота в процессе Nitrox достигало 90%.



Global Conference on Multidisciplinary Research and Innovation

Hosted Online from Berlin, Germany

Date: 2nd June, 2026

Website: <https://econferencia.com>

К преимуществам процесса относятся атмосферные условия и стабилизация мышьяка в виде арсената железа. Недостатками являются значительная переработка $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, образование элементарной серы и обеднение растворов по нитратам.

Список литературы:

- [1] Патент Австралии No 596716 / Mangano Peter, Adams Robert William, Matthew Ian George. Hydrometallurgical recovery of metals and elemental sulphur from metallic sulphides.10.05.90.
- [2] К.С. Санакулов, У.А. Эргашев. Теория и практика освоения переработки золотосодержащих упорных руд Кызылкумов // Ташкент, 2014 г.
- [3] Донияров Н.А., Хужакулов Н.Б., Вохидов Б.Р., Азимов О.А., Арипов А.Р. Металлургия редких металлов. – Ташкент, 2021.
- [4] Кунбазаров А.К., Попов Е.Л., Орел М.А., Ахмедов Х., Ходжиев А. Вскрытие золотосодержащих сульфидно-мышьяковых концентратов азотной кислотой // Гидрометаллургия золота. – М.: Наука, 1980. – С. 23-25.
- [5] Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и Металлы, 2013. – 452 с.
- [6] Van Weert G., Fair K.J., Schneider J.C. Prochem's NITROX Process // CIM Bulletin. – 1986. – V. 79 (895). – P. 84-85.