

Научная статья  
 УДК 555.497.622.765.06  
 DOI: 10.2109/2227-9245-2024-30-1-73-80

## Технология переработки сухих отходов сорбции и растворов хлоридов сурьмы

**Петр Михайлович Соложенкин**

*Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова  
 Российской академии наук, г. Москва, Россия  
 solozhenkin@mail.ru*

### Информация о статье

Поступила в редакцию  
09.01.2024

Одобрена после  
рецензирования 10.02.2024

Принята к публикации  
13.02.2024

### Ключевые слова:

*золото, сурьма, сухие  
отходы сорбции,  
кислотное выщелачивание,  
цианирование, флотация,  
ксантогенат, свинец, медь,  
цинк*

**С**нижение потерь ценных компонентов при переработке комплексных золотосурьмяных руд, повышение извлечения сурьмы при флотации сульфидных минералов является актуальной научной проблемой. Цель исследования – максимальное извлечение золота и сурьмы из сухих отходов сорбции после цианирования золота, совершенствование реагентного режима процесса флотации минералов сурьмы. Задачи исследования: оценка эффективности технологии переработки сухих отходов сорбции; извлечение золота из кека кислотного выщелачивания сурьмы; получение различных сурьмосодержащих продуктов из растворов хлоридов сурьмы; изучение возможности замены свинца смесью катионов цинка и меди для гидрофобизации поверхности сульфидных минералов сурьмы при флотации. Объект исследования – техногенное и природное минеральное сырьё, содержащее золото и сурьму. Методология и методы исследования: информационный анализ, оценка существующих научных разработок, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований. Предложено новое технологическое решение: кислотная (смесь соляной кислоты и гидроксида водорода) гидрометаллургическая технология переработки сухих отходов сорбции с целью извлечения золота и сурьмы. Кислотная обработка позволяет полностью перевести сурьму в раствор, значительно улучшает качество кека для последующего цианирования и извлечения золота, уменьшает объёмы материала для переработки цианированием, упрощает технологию цианирования. Проведено изучение активации  $Sb_2S_3$  и возможности замены свинца ( $Pb(NO_3)_2$ ) смесью цинка и меди ( $ZnSO_4$  и  $CuSO_4$ ) при флотации сурьмяных руд Хипкошинского месторождения Забайкальского края. Это позволило создать благоприятные условия для взаимодействия с ксантогенатом и гидрофобизировать поверхность сульфидных минералов. Теоретически оценили заменители сероводорода типа  $NaCNS$ ,  $KCNS$ ,  $CuCNS$  для применения в процессе флотации.

### Original article

## Technology of Dry Wastes Processing of Sorption and Solutions of Antimony Chlorides

**Petr M. Solozhenkin**

*Academy of Sciences Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia  
 solozhenkin@mail.ru*

### Information about the article

Received January 9, 2024

Approved after review  
February 10, 2024

Accepted for publication  
February 13, 2024

**R**educing the loss of valuable components during the processing of complex gold-antimony ores, increasing the extraction of antimony during the flotation of sulfide minerals, is an urgent scientific problem. The aim of the study is to maximize the extraction of gold and antimony from dry sorption waste after gold cyanidation, and to improve the reagent regime of the antimony mineral flotation process. Research objectives are as follows: evaluation of the technology efficiency for processing dry sorption waste; extraction of gold from the cake of acidic leaching of antimony; production of various antimony-containing products from solutions of antimony chlorides; study of the possibility of replacing lead with a mixture of zinc and copper cations to hydrophobize the surface of antimony sulfide minerals during flotation. The object of the research is man-made and natural mineral raw materials containing gold and

**Keywords:**

gold, antimony, dry sorption waste, acid leaching, cyanidation, flotation, xanthogenate, lead, copper, zinc

antimony. The following research methodology and methods are used: information analysis, evaluation of existing scientific developments, methods of theoretical and experimental research. A new technological solution has been proposed: acidic (a mixture of hydrochloric acid and hydrogen hydroxide) hydrometallurgical technology for processing dry sorption waste in order to extract gold and antimony. Acid treatment makes it possible to completely transfer antimony into solution, significantly improves the quality of the cake for subsequent cyanidation and gold extraction, reduces the volume of material for processing by cyanidation, and simplifies cyanidation technology.  $Sb_2S_3$  activation and the possibility of lead ( $Pb(NO_3)_2$ ) replacement have been studied 2) a mixture of zinc and copper ( $ZnSO_4$  and  $CuSO_4$ ) during the flotation of antimony ores from the Khipkoshinsky deposit in the Transbaikal Region. This has made it possible to create favorable conditions for interaction with xanthogenate and hydrophobize the surface of sulfide minerals. Theoretically, hydrogen sulfide substitutes such as  $NaCNS$ ,  $KCNS$ ,  $CuCNS$  for use in the flotation process were evaluated.

**Введение.** Одной из актуальных проблем, стоящих перед отечественной перерабатывающей промышленностью, является комплексное использование минеральных ресурсов, включая золотосурьмяные руды [1; 9]. Классической технологией извлечения золота является цианирование. В процессе гидрометаллургического извлечения золота в качестве сорбента используется активированный уголь, который имеет высокую прочность по отношению к истиранию. Некондиционный угольный сорбент после цианирования может содержать от 0,1 до 5,0 кг/т золота, а при переработке золотосурьмяных руд, помимо благородного металла, в кеках цианирования также содержится сурьма.

Сурьмосодержащие руды достаточно эффективно перерабатывают флотацией. Формы присутствия сурьмы в золоторудном сырье чрезвычайно разнообразны; они представлены более чем 18 минералами, каждый из которых по-разному ведёт себя в процессах извлечения. Буланжерит ( $Pb_5Sb_4S_{11}$ ) и другие сложные минералы сурьмы – халькостибит ( $CuSbS_2$ ), тетраэдрид ( $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ ), бертьерит ( $FeSb_2S_4$ ) – флотируют с ксантогенатом и терпенолом при pH 8 без предварительной активации. На ряде зарубежных предприятий в качестве депрессора антимонита применяют медный купорос и каустическую соду [13]. Флотацию золотосодержащих сульфидов железа ( $FeS_2$ ,  $FeAsS$ ) можно активировать небольшими добавками медного купороса, одновременно оказывающего на антимонит в щелочной среде дополнительное депрессирующее действие.

**Актуальность.** Развитие горнопромышленного производства приводит к существенным потерям минералов сурьмы [15; 16]. На территории Сибири сосредоточены до 12 % общероссийских техногенных отходов сурьмы. За счёт широкого применения в различных отраслях промышленности сурь-

ма востребована в народном хозяйстве, её получение возможно не только из природного, но и из техногенного сырья.

Технической проблемой вовлечения в переработку комплексных золотосурьмяных руд является сложность создания эффективной технологии переработки угольного сорбента после цианирования золота с простым аппаратным оформлением при максимальном извлечении золота и сурьмы, что обеспечивает комплексное использование минерального сырья. Совершенствование реагентного режима процесса флотации позволяет уменьшить технологические потери сурьмы [8]. Многократные исследования по разработке технологий переработки комплексных золотосурьмяных руд не позволили выделить из этого сырья золотосурьмяный концентрат.

Поэтому проблема разработки технологий, которые обеспечивали бы снижение технологических потерь золота и сурьмы, остаётся актуальной.

**Цель исследования** – максимальное извлечение золота и сурьмы из сухих отходов сорбции после цианирования золота, совершенствование реагентного режима процесса флотации минералов сурьмы.

**Задачи исследования:** оценка эффективности технологии переработки сухих отходов сорбции; извлечение золота из кека кислотного выщелачивания сурьмы; получение различных сурьмосодержащих продуктов из растворов хлоридов сурьмы; изучение возможности замены свинца смесью катионов цинка и меди для гидрофобизации поверхности сульфидных минералов сурьмы при флотации.

**Объект исследования** – техногенное и природное минеральное сырьё, содержащее золото и сурьму. **Предмет исследования** – технологии, обеспечивающие получение металлов золота и сурьмы из техногенного и природного минерального сырья.

**Методология и методы исследования:** информационный анализ, оценка существующих научных разработок, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований.

**Разработанность темы.** Технологии переработки сухих отходов сорбции (угольные сорбенты) и растворов хлоридов сурьмы физико-химическими методами переработки изучены в недостаточной степени [1; 9].

**Результаты исследования и их обобщение.** Константы ЯКР (ядерного ква-

друпольного резонанса) минералов сурьмы. Атомная масса сурьмы равна 121,75, атомный номер 51. Природная сурьма состоит из двух стабильных изотопов  $^{121}\text{Sb}$  (57,25 %) и  $^{123}\text{Sb}$  (42,75 %). Важнейшими искусственно полученными радиоактивными изотопами сурьмы являются  $^{122}\text{Sb}$ ,  $^{122\text{m}}\text{Sb}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ .

Содержание Au в пробе составило 4,23 г/т. В таблице представлены результаты фазового анализа сухих хвостов сорбции ГМО ЗИФ-3, перерабатывающей руды месторождения Олимпиадинское [Там же].

Результаты фазового анализа золота в сухих хвостах сорбции / Results of the phase analysis of gold in dry sorption tails

Форма нахождения золота / Form of finding gold	Содержание золота, г/т / Gold content, g/t	Распределение золота, % / Distribution of gold, %
Свободное с чистой поверхностью, извлекаемое амальгамацией / Free from a clean surface, extracted by amalgamation	0,23	5,49
В виде открытых сростков с рудными породообразующими компонентами / In the form of open accretions with ore-forming components	1,75	41,25
Золото в цианируемой форме / Gold in cyanide form	1,98	46,74
В плёнках и минералах, растворимых в HCl / In films and minerals, soluble in HCl	0,32	7,63
Тонковкрапленное в сульфиды / Fine-grained in sulfides	1,40	33,03
Тонковкрапленное в нерастворимых в царской водке минералах и кварце / Finely interspersed in minerals and quartz insoluble in Aqua regia	0,53	12,6
Всего в пробе хвостов / Total tails in the sample	4,23	100,0

Из результатов, представленных в таблице, следует, что свободное золото с чистой поверхностью в пробе хвостов составляет 5,49 %. Суммарное количество цианируемого золота – 46,74 %. Основной причиной упорности золота к цианистому процессу является его ассоциация с сульфиды – 33,03 % от общей массы металла. В ассоциации с нерастворимыми в царской водке минералами и кварцем находится порядка 12,60 % золота. По результатам фазового анализа в плёнках и минералах, растворимых в HCl, содержится золота 0,32 г/т (самое малое количество), распределение золота составило 7,63 %. По результатам фазового анализа пробы хвостов сорбции можно сделать вывод, что сырьё является упорным для извлечения золота цианированием.

В основу нового технологического решения положена принципиально иная кислотная гидрометаллургическая технология. В качестве растворителя предлагается использовать смесь соляной кислоты и гидроксида водорода.

На рисунке показана разработанная технология переработки сухих отходов сорбции.

Извлечение золота из сухих хвостов сорбции начинается с удаления обогащённой угольной мелочи промывкой. Далее осуществлялось сорбционное выщелачивание сурьмы. Хвосты сорбции обрабатывали при Т:Ж = 1:3, при комнатной температуре соляной кислотой. Затем пульпу фильтровали, кек обрабатывали  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и направляли на цианирование [10] и далее – на извлечение золота.

В новом технологическом решении в результате кислотного выщелачивания сурьмы получают два продукта: первый – кек, он является самым ценным материалом, предназначенным для извлечения золота цианированием, успешно действующей технологией на предприятии, и второй – раствор хлористой сурьмы, который поступает в цикл извлечения различных соединений сурьмы [11]. При дальнейшей переработке получают следующие сурьмосодержащие продукты: хлорокись сурьмы  $\text{SbOCl}$ ; сульфид сурьмы  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ; цементная сурьма  $\text{Sb}$ ; раствор  $\text{SbCl}_3$ , который является исходным сырьём для получения соединений сурьмы и антипиренов (антивоспламенителей) [3].

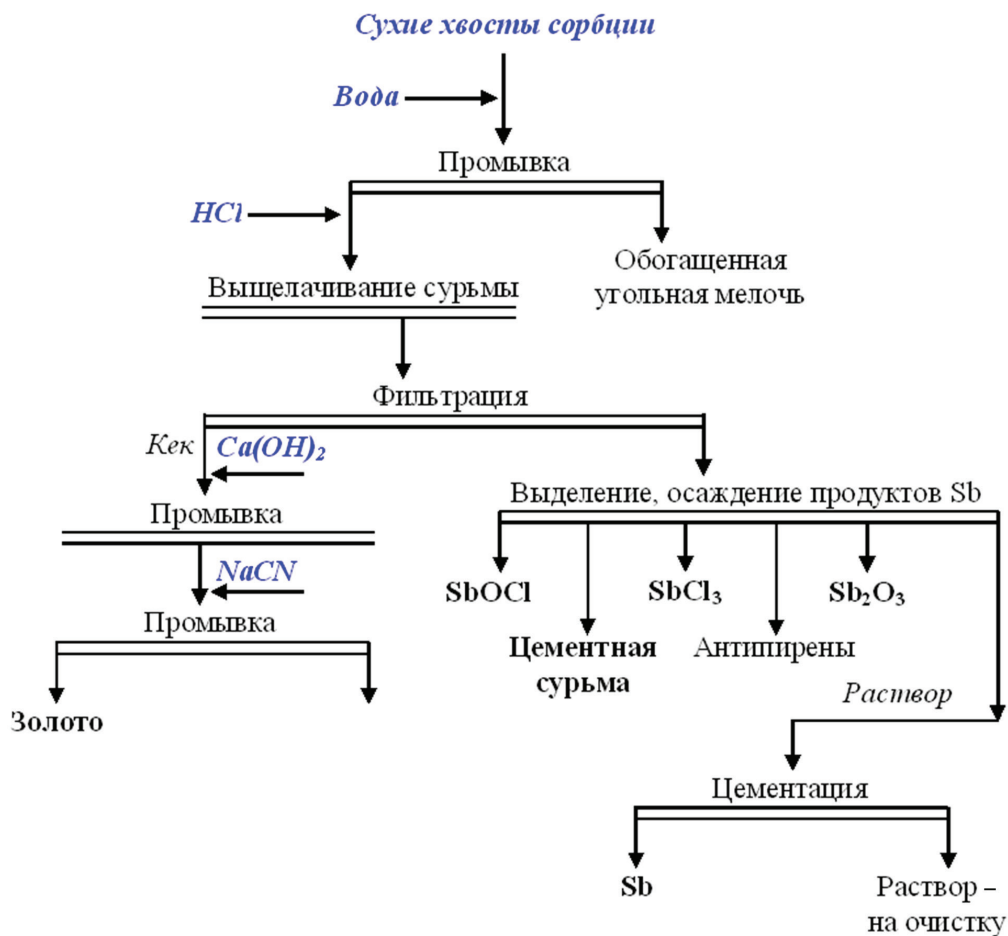


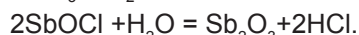
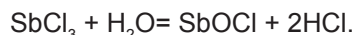
Схема технологии переработки сухих отходов сорбции /  
Scheme of technology for processing dry sorption waste

Сурьмяный блеск  $Sb_2S_3$  и сульфат сурьмы применяются в качестве взрывчатой смеси на основе гремучей ртути [2]. Хлоридные растворы обрабатываются сернистым натрием для получения сульфида сурьмы по реакции:  $2SbCl_3 + 3Na_2S = Sb_2S_3 + 6NaCl$ .

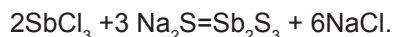
Растворы также обрабатывают смесью серы и сернистого натрия при соотношении  $(x-1)Na_2S - Na_2Sx$  для получения товарного сульфидного концентрата при смешивании  $Sb_2S_3$  с осадком, содержащим золото порядка 76 г/т. Кек в случае необходимости можно смешивать с сульфидом сурьмы при содержании в смеси сурьмы 25 % и золотом, содержащимся в кеке. Гидролиз солянокислых растворов сурьмы, полученных в результате выщелачивания, лучше всего проводить при следующих условиях:  $T = 20-40$  °C; число разбавления принимали равным 5–10, при продолжительности 1 ч. При этом желательно, чтобы концентрация сурьмы в растворе была не менее 20–40 г/дм<sup>3</sup>. Гидролизные

осадки оксихлоридов сурьмы, полученные в указанных условиях, содержали 73,5–78,5 % сурьмы [12; 14; 17].

**Переработка растворов хлорида сурьмы.** Получение хлороксида сурьмы – по известной реакции, 10 ч (по массе)  $SbCl_3$  растворяют в 25 ч (по массе) концентрированной HCl и разбавляют в 110–150 (по массе) воды:



Получение сульфида сурьмы протекает по следующим химическим реакциям:



$(X-1)So + Na_2S = Na_2Sx$  (где  $X = 2-5$ ), при взаимодействии с  $Na_2Sx$  и  $Sb_2O_3$  получают сульфид сурьмы. Необходимо к раствору  $SbCl_3$  прибавить  $Na_2Sx$  и получить  $Sb_2S_3$  и NaCl. Готовили смесь, состоящую из осадка  $Sb_2S_3 = 25$  % Sb + осадок Au – 76 г/т. К раствору прибавляли заменитель  $H_2S$  и получали товарный продукт  $Sb_2S_3$ .

Извлечение сурьмы в виде гидроксида сурьмы осуществляется по следующей реакции:  $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{SbOCl} + 2\text{HCl}$ ;  $\text{SbOCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{HCl}$ .

Можно также обработать смесью серы и сернистого натрия при соотношении  $(X-1) + \text{Na}_2\text{S} - \text{Na}_2\text{S}_x$  для получения товарного сульфидного концентрата при смешивании с  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  и осадка с содержанием золота порядка 76 г/т.

Бинарной смесью соляной кислоты при Т:Ж=1:3, комнатной температуре, концентрацией 7,7–7,8 моль/дм<sup>3</sup> в течение 1–2 ч пульпу фильтруют, осадок направляют для извлечения золота.

Растворение окисленных и сульфидных минералов сурьмы предусматривается в кислотном растворе  $\text{HCl} + \text{CaCl}_2$ , хлориде железа. Установлено, что добавление в солянокислый раствор хлорида кальция позволяет в 5–7 раз снизить концентрацию соляной кислоты, необходимую для избирательного выщелачивания почти 100 %  $\text{SbOCl}$  сурьмы и получения продукта, содержащего золото. Результат – содержание Au должно возрасти почти в 2 раза, по сравнению с содержанием Au в исходном продукте.

Триоксид и оксихлориды сурьмы: для получения триоксида сурьмы образованные при солянокислом выщелачивании сурьмяные растворы гидролизуют разведением с водой с последующей нейтрализацией промежуточных оксихлоридов [1; 2].

Гидролизные осадки оксихлоридов сурьмы, полученные в указанных условиях, содержали 73,5–78,5 % сурьмы. Для отделения  $\text{SbCl}_3$  от Au необходимо уменьшение концентрации сурьмы в растворе до 20 % Sb. Возможно получение  $\text{SbOCl}$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ .

Кислотная обработка позволяет полностью перевести сурьму в раствор, частично мышьяк, железо, кальций и другие примеси, растворимые в  $\text{HCl}$ , т. е. значительно улучшить качество кека для последующего цианирования, уменьшить объёмы материала для переработки цианированием, увеличить содержание золота в кеке, упростить технологию цианирования и получить ряд других преимуществ.

Для получения более чистого солянокислого раствора сурьмы (III) гидролизуют в присутствии азотной кислоты при комнатной температуре. Полученные оксихлориды промывали бикарбонатом натрия. Сурьма (III) гидроксид (сурьмянистая кислота  $\text{Sb}(\text{OH})_3$ ) существует только в водных растворах. При

осаждении из кислых и щелочных растворов образуется гель, который даже под водой переходит в кристаллический  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

**Получение оксихлорида сурьмы.**  $\text{SbCl}_3$  растворяется в органических веществах – бензоле, ацетоне, в спиртах. При контакте  $\text{SbCl}_3$  с водой гидролизует с образованием белого оксихлорида:  $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{SbOCl} + 2\text{HCl}$ . Оксихлорид нерастворим в холодной воде и выпадает в осадок. 10 ч (по массе)  $\text{SbCl}_3$  растворяют в 25 ч (по массе) концентрированной  $\text{HCl}$  и по реакции:  $2\text{SbOCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{Sb}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl}$ ; 10 ч (по массе)  $\text{SbCl}_3$  растворяют в 25 ч (по массе) концентрированной  $\text{HCl}$  и разбавляют в 110–150 ч (по массе) воды. Осадок отфильтровывают.

Антипирены защищают древесину, ткани, пластмассы и другие материалы органического происхождения [1]. Например,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  используют в виде растворов, которыми пропитывают материалы (или) в виде красок, которые наносят на защищаемую поверхность.

Таким образом, кислотная обработка сухих отходов сорбции позволяет полностью перевести сурьму в раствор, получить из неё ряд продуктов и дополнительно извлечь благородный металл. Содержание золота в цианированной форме составляет 1,98 г/т (при распределении золота 46,74 %).

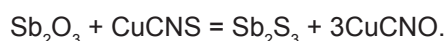
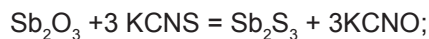
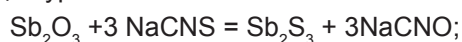
**Применение смеси катионов для флотации сурьмяных руд.** Ядерным квадрупольным резонансом установлен факт поверхностной сорбции свинца при активации  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  в процессе флотации, что создаёт благоприятные условия для взаимодействия с ксантогенатом и гидрофобизирует поверхность минералов. Изучена возможность замены свинца ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) смесью цинка и меди ( $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$ ) [6; 7]. Рассмотрено применение смеси катионов  $\text{Zn}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$  при флотации сурьмяных руд Жипкошинского месторождения Забайкальского края. При применении в качестве активатора свинца смеси катионов  $\text{Zn}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$  получены практически одинаковые результаты. Установлено оптимальное соотношение  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , равное 1:1.

Эффективность использования смеси катионов подтверждена при флотации сурьмяной руды. При применении  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  получены сурьмяные концентраты с содержанием Sb 55,68–58,59 % при извлечении сурьмы 66,8–66,3 % и содержании Sb в хвостах 0,87–0,99 %. При использовании смеси  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{ZnSO}_4$  получен концентрат с содержанием Sb 53,32 % при извлечении сурьмы 64,9 % и

содержании сурьмы в хвостах 0,99 %. Изучено взаимодействие собирателей с катионом свинца.

**Флотация окисленных минералов сурьмы.** Исследовалась руда с содержанием 2,0 % сурьмы, в которой содержание сульфидов сурьмы составляло 0,14%. Изучались условия протекания процесса флотации с присутствием элементарной серы и  $\text{Na}_2\text{S}_5(\text{Na}_2\text{S}+4\text{S}) = \text{Na}_2(\text{S}_5)$ . При сульфидизации и температуре 245 °С количество  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  увеличилось до 50 %. При сульфидизации  $\text{Na}_2\text{S}_5$ , температуре 180 °С и расходе 2 % на навеске руды в течение 60 мин снижается содержание Sb с 1,13 до 0,32 % и увеличивается извлечение с 30,3 до 80,3 % [4; 5].

Теоретически оценили заменители сероводорода типа NaCNS, KCNS, CuCNS сульфида сурьмы:



**Выводы.** Представлена технология переработки сухих отходов сорбции гидрометаллургического передела золотосурьмяных руд. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод об эффективности использования сухих сорбентов для извлечения золота и сурьмы в виде большого количества различных соединений.

Проведено изучение возможности замены свинца ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) смесью цинка и меди ( $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CuSO}_4$ ). При флотации сурьмяных руд установлено оптимальное соотношение катионов  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , равное 1:1. Теоретически оценили заменители сероводорода типа NaCNS, KCNS, CuCNS для применения в процессе флотации и извлечения сульфида сурьмы  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

#### Список литературы

1. Груба С. В., Панченко Г. М., Тимофеева С. С. Вовлечение в переработку лежалых отвалов – эффективный способ восполнения сырьевой базы предприятия золотодобывающей отрасли // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья: материалы междунар. конф. (Плаксинские чтения-2023). М.: Спутник+, 2023. С. 118–120.
2. Добрынин А. А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. М.: Академия Жуковского, 2014. 528 с.
3. Кодолов В. И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 274 с.
4. Кондратьев С. А., Гаврилова Т. Г. Механизм работы физической формы сорбции на примере активации сульфидных минералов ионами тяжелых металлов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 3. С. 121–135.
5. Коновалов И. А. Влияние pH на активность продуктов взаимодействия ксантогената с ионами свинца // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья: материалы междунар. конф. (Плаксинские чтения-2023). М.: Спутник+, 2023. С. 306–310.
6. Матвеева Т. Н. Новые хелатообразующие реагенты для флотационного извлечения цветных и благородных металлов из труднообогатительных руд // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья: материалы междунар. конф. (Плаксинские чтения-2023). М.: Спутник+, 2023. С. 64–69.
7. Матвеева Т. Н., Громова Н. К., Ланцова Л. Б. Разработка метода селективной флотации сульфидов сурьмы и мышьяка при обогащении комплексных золотосодержащих руд // Цветные металлы. 2019. № 4. С. 6–12.
8. Михеев Г. В., Богйдаев С. А. Исследование и разработка технологии флотационного обогащения окисленных форм сурьмы на основе применения нового реагента-собирателя // Науки о земле и недропользование. 2020. Т. 43, № 1. С. 59–65.
9. Орлов С. С., Ковалев С. В., Каширин Д. М., Чекушин М. В., Миних С. С. Переработка некондиционного золотосодержащего угольного сорбента // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья: материалы междунар. конф. (Плаксинские чтения-2023). М.: Спутник+, 2023. С. 409–412.
10. Совмен В. К., Гуськов В. Н., Белый А. В. Переработка золотоносных руд с применением бактериального окисления в условиях Крайнего Севера: монография. Новосибирск: Наука, 2007. 141 с.
11. Соложенкин П. М. Оксихлориды сурьмы и висмута при инновационной переработке сурьмы и висмутсодержащих руд // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья: материалы междунар. конф. (Плаксинские чтения-2021). Владикавказ, 2021.
12. Соложенкин П. М. Проблемы технологии обогащения и переработки стратегического висмутсодержащего сырья / под ред. В. А. Чантурия. М.: ООО «Научтехиздат», 2020. 156 с.

13. Cao Q., Cheh Y., Feng Q., Wens S. Activation Mechanism of Lead ion in Flotation of Stibnite // *Mineral Engineering*. 2018. Vol. 119. P. 173–182.
14. Li F., Zhao G., Zhong H., Wang S., Liu G. A Novel Activation System for Wolfram Flotation by Using Cu(II) Ion and Hydroxyethyl phosphonic Acid // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022. Vol. 9. DOI: 10.1016.J.cega.2021.100234.
15. Segura-Salezar J., Brito-Peraga P. Stibnite froth Flotation: A Critical Review // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 163.
16. Vorobyev S. A., Saikova S. V., Novikova S. A., Fetisova O. Yu., Zharkov S. M., Krylov A. S., Likhatski M. N., Mikhlin Yu. L. Colloidal and Immobilized Nanoparticles of Lead Xanthates // *ACS Omega*. 2019. No. 4. P. 11472–11480.
17. Xiao Yo., Cui Y., Tong Y., Wang J., Huang D., Zhang Y. Activation Mechanism of Cu<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in Stibnite Flotation. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-2544656/v1> (дата обращения: 20.07.2023). Текст: электронный.

## References

1. Gruba S. V., Panchenko G. M., Timofeeva S. S. Involvement in the processing of stale dumps is an effective way to replenish the raw material base of a gold mining enterprise. Modern problems of complex and deep processing of natural and non-traditional mineral raw materials: Collected materials of the International Conference (Plaksin readings-2023). Moscow: Sputnik+ Publishing House, 2023. (In Rus.)
2. Dobrynin A. A. Explosives. Chemistry. Compositions. Safety. Moscow: Publishing House Academy of Zhukovsky, 2014. (In Rus.)
3. Kodolov V. I. Flame retardants for polymer materials. Moscow: Chemistry, 1980. (In Rus.)
4. Kondratyev S. A., Gavrilova T. G. The operation mechanism of the physical form of sorption using the example of sulfide minerals activation by heavy metal ions. Physico-technical problems of mineral development, no. 3, pp. 121–135, 2018. (In Rus.)
5. Konovalov I. A. The effect of pH on the activity of xanthogenate interaction products with lead ions. Modern problems of complex and deep processing of natural and non-traditional mineral raw materials: Collected materials of the International Conference (Plaksin readings-2023). Moscow: Sputnik+ Publishing House, 2023. (In Rus.)
6. Matveeva T. N. New chelating reagents for flotation extraction of non-ferrous and precious metals from hard-to-enrich ores. Modern problems of complex and deep processing of natural and non-traditional mineral raw materials: Collected materials of the International Conference (Plaksin readings-2023). Moscow: Sputnik+ Publishing House, 2023. (In Rus.)
7. Matveeva T. N., Gromova N. K., Lantsova L. B. Development of a method for selective flotation of antimony and arsenic sulfides during the beneficiation of complex gold ores. *Color. Metals*, no. 4, pp. 6–12, 2019. (In Rus.)
8. Mikheev G. V., Bogidaev S. A. Research and development of technology for flotation enrichment of oxidized forms of antimony based on the use of a new reagent collector. *Earth sciences and subsoil use*, vol. 43, no. 1, pp. 59–65, 2020. (In Rus.)
9. Orlov S. S., Kovalev S. V., Kashirin D. M., Chekushin M. V., Minikh S. S. Processing of substandard gold-containing coal sorbent. Modern problems of complex and deep processing of natural and non-traditional mineral raw materials: Collected materials of the International Conference (Plaksin readings-2023). Moscow: Sputnik+ Publishing House, 2023. (In Rus.)
10. Sovmen V. K., Guskov V. N., Bely A. V. Processing of gold-bearing ores using bacterial oxidation in the conditions of the Far North: monograph. Novosibirsk: Nauka, 2007. (In Rus.)
11. Solozhenkin P. M. Antimony and bismuth oxychlorides in the innovative processing of antimony-and-bismuth-containing ores. Problems of integrated and environmentally safe processing of natural and man-made mineral raw materials: Materials of the International Conference (Plaksin-Readings-2021). Vladikavkaz, 2021. (In Rus.)
12. Solozhenkin P. M. Problems of technology for enrichment and processing of strategic bismuth-containing raw materials. Moscow: LLC "Naughtekhzdat", 2020. (In Rus.)
13. Cao Q., Cheh Y., Feng Q., Wens S. Activation mechanism of lead on in flotation of stibnite. *Mineral Engineering*, vol. 119, pp. 173–182, 2018. (In Eng.)
14. Li F., Zhao H., Zhong H., Wang S., Liu G. A novel activation system for wolfram flotation by using Cu(II) Ion and Hydroxyethyl phosphonic acid. *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 9, 2022. DOI: 10.1016.J.cega.2021.100234. (In Eng.)
15. Segura-Salezar J., Brito-Peraga P. Stibnite froth flotation: A critical review. *Minerals Engineering*, vol. 163, 2021. (In Eng.)
16. Vorobyov S. A., Saikova S. V., Novikova S. A., Fetisova O. Yu., Zharkov S. M., Krylov A. S., Likhatskiy M. N., Mikhlin Yu. L. Colloidal and immobilized nanoparticles of lead xanthogenates. *ACS Omega*, no. 4, pp. 11472–11480, 2019. (In Eng.)

17. Xiao Yo., Cui Y., Tong Y., Wang J., Huang D., Zhang Y. Activation mechanism of Cu<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in stibnite flotation. Web. 20.07.2023. <https://www.researchsquare.com/article/rs-2544656/v1>. (In Eng.)

---

**Информация об авторе**

*Соложенкин Петр Михайлович*, д-р тех. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН), г. Москва, Россия; [solozhenkin@mail.ru](mailto:solozhenkin@mail.ru). Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, химическая технология.

**Information about the author**

*Solozhenkin Peter M.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Staff Scientist, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources named after N. V. Melnikov, Russian Academy of Sciences (IPKON the RASCI), Moscow, Russia; [solozhenkin@mail.ru](mailto:solozhenkin@mail.ru). Area of scientific interests: mineral processing, chemical technology.

---

**Для цитирования**

Соложенкин П. М. Технология переработки сухих отходов сорбции и растворов хлоридов сурьмы // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 1. С. 73–80. DOI: 10.2109/2227-9245-2024-30-1-73-80.

**For citation**

Solozhenkin P.M. Technology of Dry Wastes Processing of Sorption and Solutions of Antimony Chlorides // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 1. P. 73–80. DOI: 10.2109/2227-9245-2024-30-1-73-80.