

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / MINERAL PROCESSING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73>ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ ГРАВИТАЦИИ
ЗОЛОТОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ВИНОКУРОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Научная статья

Гольсман Д.А.¹, Бакшеева И.И.^{2,*}, Коннова Н.И.³, Бурдакова Е.А.⁴, Плотникова А.А.⁵¹ ORCID : 0000-0003-4399-6744;² ORCID : 0000-0002-3838-7429;⁴ ORCID : 0000-0003-2167-7216;^{1, 2, 3, 4, 5} Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Российская Федерация⁴ Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (irina_igorevna[at]mail.ru)

Аннотация

Исследовано влияние различных флокулянтов и коагулянтов на процесс интенсификации сгущения хвостов гравитации золотоносных кор выветривания Винокуровского рудопоявления. Определена зависимость показателей содержания твердого в осадке от расхода коагулянтов и флокулянтов, а также зависимости удельной площади осаждения от расхода коагулянтов и флокулянтов. Установлено, что наиболее эффективным реагентом для интенсификации процесса сгущения, окисленной золотосодержащей руды является Magnaflok 351 при расходе 5 г/т. Данный расход реагента позволяет получить содержание твердого в осадке 60,51% при небольшой удельной площади осаждения. Потери со сливом при использовании данного реагента составляют 15 г/м³. Потери со сливом без использования реагентов составляют 40 г/м³.

Ключевые слова: сгущение, флокулянт, коагулянт, оборотная вода, площадь сгущения, золотосодержащая руда.

INTENSIFICATION OF THE THICKENING PROCESS OF FINAL TAILINGS OF GRAVITY GOLD-BEARING
RESIDUAL SOIL OF THE VINOKUROVSKY ORE OCCURRENCE

Research article

Golsman D.A.¹, Baksheeva I.I.^{2,*}, Konnova N.I.³, Burdakova E.A.⁴, Plotnikova A.A.⁵¹ ORCID : 0000-0003-4399-6744;² ORCID : 0000-0002-3838-7429;⁴ ORCID : 0000-0003-2167-7216;^{1, 2, 3, 4, 5} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation⁴ Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (irina_igorevna[at]mail.ru)

Abstract

The influence of different flocculants and coagulants on the process of intensification of thickening of final tails of gold-bearing residual soil of Vinokurovsky ore deposit was studied. The dependence of solid content in sediment on the consumption of coagulants and flocculants, as well as the dependence of the specific area of sedimentation on the consumption of coagulants and flocculants, is determined. It is established that the most effective reagent for intensification of the thickening process of oxidized gold-bearing ore is Magnaflok 351 at a consumption rate of 5 g/t. This reagent consumption allows to obtain a solid content in the sludge of 60.51% at a small specific area of sedimentation. The drain loss with this reagent is 15 g/m³. The drain loss without reagent is 40 g/m³.

Keywords: thickening, flocculant, coagulant, recycled water, thickening area, gold-bearing ore.

Введение

Затраты предприятий на складирование отходов горной промышленности составляют до 50% от общей стоимости обогатительного передела и увеличиваются в связи с ростом цен на электроэнергию, воду и оборудование. Одним из перспективных направлений в энергосбережении процесса складирования отходов является сгущение хвостовой пульпы с организацией частичного или полного внутризаводского водооборота [1].

Операция сгущения позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию, потребление свежей воды за счет использования водооборота, а также снижается количество продукта, поступающего в хвостохранилище, за счет увеличения содержания твердого в сгущенном продукте.

Статистический анализ существующих систем оборотного водоснабжения в комплексе с процессом сгущения обогатительных фабрик по переработке шламистых руд показывает, что для решения вопросов чистоты оборотных вод требуется комплексный подход к системе обезвоживания [2], [3], [4], [5].

Для ускорения процесса сгущения в пульпу добавляют специальные реагенты, вызывающие коагуляцию или флокуляцию, т.е. слипание мельчайших минеральных частиц и образование относительно крупных, быстро осаждающихся агрегатов [6]. При использовании реагентов флокулирующего и коагулирующего действия снижается потребная площадь сгущения, что позволяет существенно сократить капитальные вложения при строительстве или реконструкции обогатительной фабрики. Основное преимущество флокулянтов перед коагулянтами состоит в том, что они обеспечивают более прочное связывание частиц суспензии в относительно упругую пористую структуру, которая

обладает достаточно высокой сопротивляемостью к разрушению под действием механической обработки. Благодаря этим свойствам, обработанные флокулянтном суспензии, значительно быстрее седиментируют, а осадок обладает более высокой плотностью и легче обезвоживается прессованием или центрифугированием, так как его гидравлическое сопротивление в процессе обработки растёт значительно медленнее, чем у суспензий, обработанных коагулянтном. В то же время, флокулянты имеют один существенный недостаток – их молекулы, в силу огромной молекулярной массы, обладают очень низкой подвижностью, что создает проблемы при смешивании исходного раствора флокулянта с суспензией и равномерном распределении его молекул в объёме обрабатываемой суспензии и, следовательно, на поверхности частиц [12], [13], [14], [15].

Цель данной работы состояла в том, чтобы определить оптимальный расход и тип реагента для интенсификации процесса сгущения отвальных хвостов золотоносных кор выветривания одного Винокуровского рудопроявления с массовой долей золота 1,5 г/т [7].

Методика исследований и обработки данных

В качестве объекта исследования выбраны золотоносные коры выветривания Винокуровского рудопроявления с массовой долей золота 1,5 г/т. Основные рудные минералы – самородное золото, магнетит, гетит, сульфиды, нерудные минералы с высоким удельным весом – англезит, пироморфит, церуссит и рутил, а также кварц, нередко находящийся в тонком сростании с золотом.

Для проведения исследований по интенсификации процесса сгущения из исходной руды были выделены отвальные хвосты после концентрации на центробежном сепараторе Falcon. Крупность хвостов сепарации составила 85% класса – 0,074 мм. Результаты обогатимости золотоносных кор выветривания представлены в работе [8].

Эксперименты проводились согласно рекомендаций, изложенных в [9], [10].

Сгущение пульпы осуществлялось в цилиндрах ёмкостью 500 мл. Для опытов берут свежую, полученную в процессе обработки руды пульпу; плотность твердой пульпы определяется заранее. В полученной пульпе, так называемой исходной, определяют весовое отношение жидкого к твёрдому (R) по формуле 1.1.

$$R = \frac{\delta V - P}{\delta(P - V)} \quad (1.1)$$

где δ – плотность твердой фазы, г/см³; V – объём пульпы, см³; P – масса пульпы, г.

Значение R определяют взвешиванием пульпы известного объёма. После этого приступают к приготовлению из исходной пульпы порций с отношением жидкого к твёрдому (R) от 10 до 3.

Для этого по формуле 1.2 вычисляют массу твёрдого в граммах (T) в каждой порции, причем объём порции V зависит от ёмкости используемых для сгущения цилиндров, а значение R принимают для каждой порции в указанных пределах.

$$T = \frac{\delta V}{\delta R + 1} \quad (1.2)$$

Затем по формуле 1.3 вычисляют объём исходной пульпы, необходимый для получения каждой порции. Отмеривают нужные объёмы исходной пульпы и частичным обезвоживанием (сгущением с последующей декантацией) или разбавлением доводят их до объёма на 100-150 мл меньше ёмкости цилиндров, в которых проводится сгущение.

$$V = \frac{T(\delta R + 1)}{\delta} \quad (1.3)$$

Эксперимент проводился в следующей последовательности: навеску пульпы помещают в цилиндр, добавляют реагенты, перемешивают, а затем воду доливают до отметки 500 мл. Полученную суспензию тщательно перемешивают многократным перевёртыванием цилиндра. Цилиндры ставят на ровную, хорошо освещённую поверхность. Через некоторое время появляется заметная граница осаждающегося твёрдого, выше которой находится слой осветлённой жидкости. Проводят наблюдение за скоростью перемещения границы осветлённого слоя через каждую минуту в течение 1-2 часов, до тех пор, пока сгущенный продукт не перестанет уплотняться. В конце наблюдений замеряют высоту слоя сгущенного осадка и диаметр цилиндра. Строят графическую зависимость осветлённого слоя (h) от времени отстаивания при различных концентрациях и исследуемых реагентов.

Удельную площадь осаждения определяют по формуле 1.4.

$$f = \frac{R_1 - R_2}{v \cdot K} \quad (1.4)$$

где R_1 и R_2 – исходное разжижение и в осадке соответственно; K – коэффициент использования площади сгустителя ($K = 0,7 \div 0,8$); v – скорость осаждения, м/ч.

Скорость расслоения пульпы определяли в начальный момент сжатия осадка по формуле 1.5.

$$v = \frac{H}{t} \quad (1.5)$$

где H – высота осветленного слоя в начальный момент сжатия, мм; t – время осветления пульпы в начальный момент сжатия, сек.

Плотность обезвоженного осадка характеризуют содержанием твёрдого и определяют по формуле 1.6

$$\beta_T = \frac{1}{1 + R_{OC}} \cdot 100 \quad (1.6)$$

где β_T – содержание твёрдого в осадке, %; R_{OC} – отношение жидкого к твёрдому (ж:т) в осадке находят по формуле 1.7

$$R_{OC} = \frac{m_B}{m_T} \quad (1.7)$$

где m_B – масса воды в осадке, г; m_T – масса исходной навески, г.

Осадок после сгущения содержит твёрдое и воду. Объём осадка вычисляют по формуле 1.8.

$$V_{\theta_s} = S \cdot h_{\theta_s}, \text{ см}^3 \quad (1.8)$$

где S – площадь сечения цилиндра; h_{θ_s} – высота осадка, см. (формула 1.9);

$$S = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (1.9)$$

$$V_{oc} = V_T + V_z \quad (1.10)$$

Объём твёрдого находят по формуле 1.11.

$$V_I = m_T / \delta \quad (1.11)$$

Объём воды находят по формуле 1.12.

$$V_R = V_{xc} - V_X \quad (1.12)$$

Так как плотность воды равна единице, то объём воды равен массе воды.

Данные наблюдений и расчётов записывают в таблицу и строят графическую зависимость осветлённого слоя (h) от времени отстаивания при различных концентрациях и исследуемых реагентов.

Математическая обработка статистического материала, для всех исследований заключается в следующем:

- все исследования (каждая точка на графике) дублировалась по пять раз;
- определяется среднее арифметическое по формуле;

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (1.13)$$

где N – число опытов, X – значение функции отклика.

- рассчитывается среднеквадратическое отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X} - X)^2}{N-1,45}} \quad (1.14)$$

- размах варьирования определяется по формуле:

$$R = (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1.15)$$

- определяется среднеквадратическая ошибка по формуле:

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{X} - X)^2}{N(N-1,45)}} \quad (1.16)$$

- рассеивание отдельных измерений около среднего значения характеризуются дисперсией (D), которая равна σ^2 .
- определяется коэффициент вариации по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100\% \quad (1.17)$$

- показатель точности находится по формуле:

$$\rho = \frac{\sigma_{\bar{X}}}{\bar{X}} 100\% \quad (1.18)$$

Среднее арифметическое сопровождается указанием, с какой погрешностью и вероятностью оно определено, т.е. доверительная оценка интервала и вероятности.

- доверительный интервал определяется по формуле:

$$\varepsilon = \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1.19)$$

где t – коэффициент вероятности или показатель достоверности определяет по принятому уровню значимости (при 95 % надежности) [11].

Результаты реализации методики и обсуждение

Предварительно на пробе отвальных хвостов определена исходная объемная концентрация твёрдого, которая составила 370 г/л (30% твёрдого).

Для интенсификации процесса сгущения были использованы следующие коагулянты: $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$. Это эффективные и относительно дешевые реагенты, широко использующиеся в практике обогащения руд. Диапазон расходов реагентов коагулирующего действия составил от 73,92 до 443,52 мг/л (от 200 до 1200 г/т.)

Для оценки эффективности исследуемых реагентов проведены опыты с осаждением без коагулянта.

Результаты исследований показаны в таблице 1 и на рисунках 1, 2.

Таблица 1 - Результаты исследований влияния коагулянтов на показатели сгущения

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.1>

Расход, мг/л	Время осадения, (t ₁), мин	Высота осветленного слоя, Н ₀₁ , мм	Высота осадка (начало уплотнения) (h _{с1}), мм	Высота уплотнённого осадка (h _{с2}), мм	Удельная площадь сгущения (f), м ² /г. час	Содержание твёрдого (В _{тв}), %	Разжижение, (R) Ж:Т	Скорость осадения, мм/с
Без реагентов								
0	44	96	211	138	6,68	53,68	0,86	0,036
Al ₂ (SO ₄) ₃								
73,92	50	110	200	135	6,16	52,93	0,89	0,037
147,84	58	117	193	137,5	5,74	52,28	0,91	0,034
221,76	57	120	187	134	5,03	54,73	0,83	0,035
295,68	45	114	139	101	3,4	60,51	0,65	0,042
369,6	50	116	194	133	5,48	53,46	0,87	0,039
443,52	57	119	188	142	4,4	52,66	0,9	0,035
Ca(OH) ₂								
73,92	50	112	195	137	5,17	53,94	0,85	0,037
147,84	55	115	195	136	5,88	52,67	0,9	0,035
221,76	45	115	138	101,5	3,24	60,32	0,66	0,043
295,68	49	120	187	136	4,16	54,20	0,85	0,041
369,6	45	115	195	138	4,65	52,15	0,92	0,043
443,52	43	115	192	143	3,66	52,41	0,91	0,045
Fe ₂ (SO ₄) ₃								
73,92	47	121	186	136	3,99	54,20	0,85	0,043
147,84	37	121	189	131	3,9	54,00	0,85	0,055
221,76	40	121	186	132	3,75	55,28	0,81	0,050
295,68	47	116	137	99	3,69	61,26	0,63	0,041
369,6	57	120	190	133	4,66	53,46	0,87	0,035
443,52	44	117	190	140,5	3,63	53,04	0,89	0,044

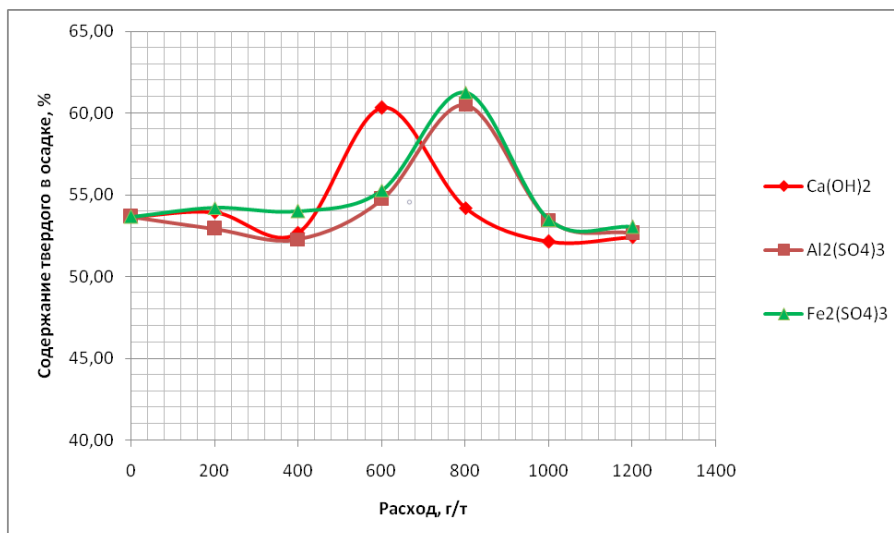


Рисунок 1 - График зависимости содержания твёрдого в осадке от расхода коагулянтов
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.2>

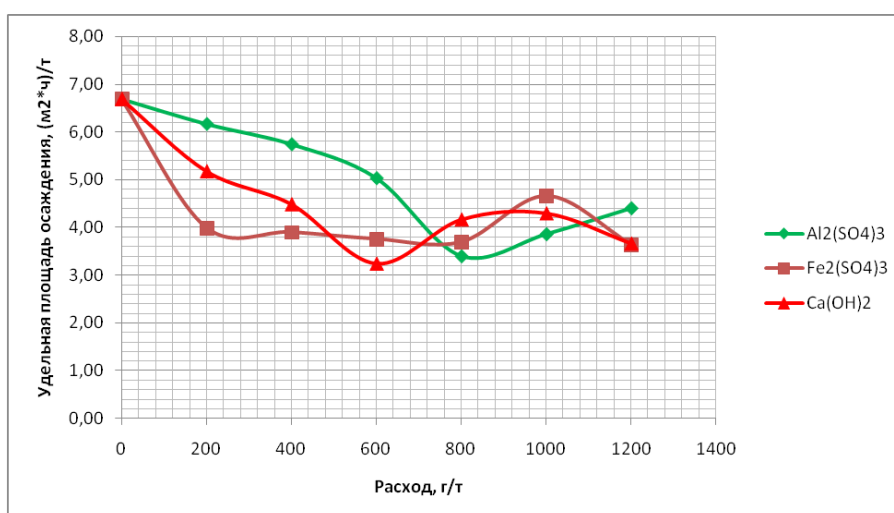


Рисунок 2 - График зависимости удельной площади осаждения от расхода коагулянтов
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.3>

По результатам проведенных опытов можно сделать вывод, что сульфат алюминия и сульфат железа показали при разных расходах невысокие результаты: время осаждения было 58-37 минут, и, соответственно, удельная площадь сгущения снизилась с 6,16 м²/т.час до 3,24 м²/т.час. При увеличении расхода коагулянтов происходит снижение удельной площади осаждения и содержание твердого в сгущенном продукте. Это объясняется увеличением двойного электрического слоя, препятствующего укрупнению частиц. Из традиционных коагулянтов лучшие результаты показала известь. Так, при расходе извести 221,76 мг/л (600 г/т) удельная площадь сгущения составляет – 3,24 м²/т.час при содержании твердого в сгущенном продукте 60,32 %.

Дальнейшие исследования были проведены с применением реагентов флокулянтов - Magnaflok 338, Magnaflok 351, Superflok H300, полиакриламид (ПАА), с расходом от 1,845 до 18,45 мг/л (от 5 до 50 г/т).

Реагенты М-351 и Superflok Н 300 имеют рабочий диапазон значений рН от 1 до 11. Относятся они к неионогенным полиакриламидам с высокомолекулярной массой. Эти флокулянты изготавливаются методом полимеризации акриламида и имеют молекулярную массу 10 миллионов, вязкость при концентрации 5 г/л от 8 сП до 200 сП.

К анионным реагентам относятся Magnaflok 338 и ПАА рабочий диапазон значений рН составляет от 5 до 11. Эти флокулянты изготавливаются методом сополимеризации акриламида и соли карбоновой или сульфокислоты. Молекулярная масса составляет 20 миллионов, вязкость при концентрации 5 г/л – от 60 до 200 сП.

Результаты исследований показаны в таблице 2 и на рисунках 3, 4.

Таблица 2 - Результаты исследований влияния флокулянтов на показатели сгущения

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.4>

Расход, мг/л	Время осаждения, (t_1), мин	Высота осветл енного слоя, H_{01} , мм	Высота осадка (начал о уплотн ения) (h_{c1}),мм	Высота уплотн ённого осадка (h_{oc2}),мм	Удельн ая площа дь сгущен ия (f),м ² /т. час	Содер жание твёрдо го ($B_{тв}$),%	Разжи жение, Ж:Т	Скорость осаждения, мм/с
Magnaflok 338								
1,845	57	134	119	110,5	0,82	57,15	0,75	0,0392
3,69	48	154	156	145	0,71	50,42	0,98	0,0535
5,535	56	145	162	149	1,00	50,97	0,96	0,0432
7,38	37	137	116	109	0,43	57,66	0,73	0,0617
9,225	46	158	152	139	0,79	51,90	0,93	0,0572
18,45	38	154	153	142	0,54	52,66	0,9	0,0675
Magnaflok 351								
1,845	63	142	111	101	1,01	60,51	0,65	0,0376
3,69	63	162	148	133	1,22	53,46	0,87	0,0429
5,535	61	157	150	141,5	0,75	52,78	0,89	0,0429
7,38	44	146	161	145,5	0,93	51,80	0,93	0,0553
9,225	43	151	159	145	0,83	50,42	0,98	0,0585
18,45	31	143	164	155	0,39	49,61	1,02	0,0769
Superfloc H300								
1,845	60	132	121	111	1,03	56,99	0,75	0,0367
3,69	88	163	147	142,5	0,51	51,03	0,96	0,0309
5,535	55	152	155	142	0,94	52,66	0,9	0,0461
7,38	31	148	159	144	0,63	52,17	0,92	0,0796
9,225	30	150	160	138,5	0,90	52,02	0,92	0,0833
18,45	17	115	138	109	0,65	51,23	0,95	0,1127
ПАА								
1,845	50	110	200	140	5,69	51,64	0,94	0,0367
3,69	75	150	160	147	1,36	49,95	1	0,0333
5,535	55	150	157	143	1,03	52,41	0,91	0,0455
7,38	36	127	126	112	0,90	56,66	0,76	0,0588
9,225	44	153	157	145	0,72	50,42	0,98	0,0580
18,45	36	143	164	154	0,50	49,83	1,01	0,0662

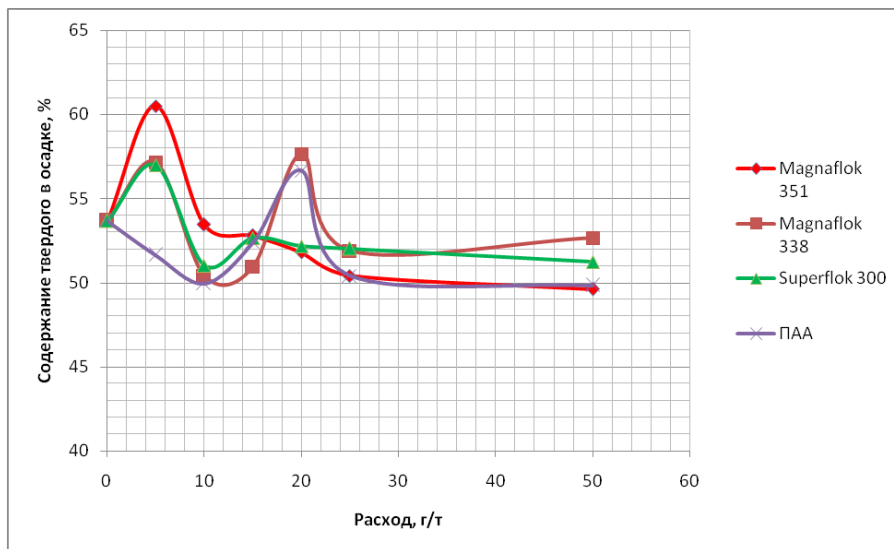


Рисунок 3 - График зависимости содержания твёрдого в осадке от расхода флокулянтов
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.5>

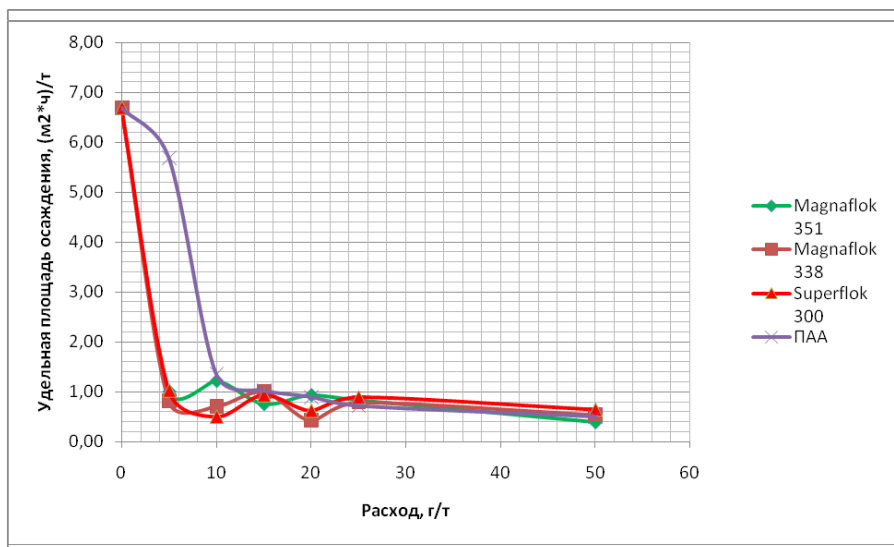


Рисунок 4 - График зависимости удельной площади осаждения от расхода флокулянта
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.73.6>

Как видно из графиков, все флокулянты работают, независимо от их типа.

При увеличении расхода неионогенного реагента Magnaflok-351 от 1,845 до 18,45 мг/л (с 5 до 50 г/т) время осаждения осадка с 63 минут уменьшается до 31. Флокулянт Superfloc H 300 позволяет уменьшить время осаждения с 60 до 17 минут. Удельная площадь сгущения при этом уменьшалась от 5,69 м²/т.час до 0,5 м²/т.час. Следует отметить, что содержание твёрдого в сгущённом продукте при использовании реагента Magnaflok-351 при расходе 1,845 мг/л (5 г/т) значительно выше и составляет 60,51% в сравнение с реагентом Superfloc H 300 (при расходе 20 г/т) – 57,66 %.

Из анионных флокулянтов, наибольший ионный заряд имеет Magnaflok 338, чем ПАА. Известно, что при маленьких расходах, более эффективен реагенты с большим зарядом. Так, при расходе Magnaflok 338 – 1,845 мг/л (5 г/т) удельная площадь составила 1,03 м²/т.час при содержании твёрдого 56,99 %, а у ПАА при расходе 7,38 мг/л (20 г/т) – 0,9 м²/т.час при содержании твёрдого 56,66%. Увеличение расхода флокулянтов снижает удельную площадь осаждения и содержание твёрдого в сгущённом продукте. Это объясняется тем, что при флокуляции образуются комплексы – каркасы, т.е. происходит связывание поверхности двух частиц «мостиком» полимерной цепочки флокулянта внутри которого имеется большое количество воды.

Заключительный этап исследований был направлен на определение потерь твёрдого со сливом сгустителя. При оптимальном реагентном режиме с использованием реагента Magnaflok 351 при расходе 1,845 мг/л (5 г/т), был отобран и отфильтрован слив, определена масса твёрдого в нем. Расчёт показал, что потери со сливом при использовании данного реагента составляют 15 г/м³. При этом потери со сливом без использования реагентов составляют 40 г/м³.

Заключение

Для интенсификации процесса сгущения в работе были использованы различные реагенты, как коагулирующего действия, так и флокулирующего механизма действия.

В качестве коагулянтов использовались $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(OH)_2$, $Fe_2(SO_4)_3$ в диапазоне 73,92 до 443,52 мг/л (от 200 до 1200 г/т.) с интервалом 73,92 мг/л (200 г/т). Это эффективные и относительно дешевые реагенты, широко применяемые в практике обогащения. Определено, что $Al_2(SO_4)_3$ и $Fe_2(SO_4)_3$ не обеспечивают высокие результаты осаждения, а именно: использование $Al_2(SO_4)_3$ позволяет получить содержание твердого в осадке 60,51% при удельной площади осаждения 3,40 ($m^2 \cdot ч$)/т; использование $Fe_2(SO_4)_3$ позволяет получить содержание твердого в осадке 61,26% при удельной площади осаждения 3,69 ($m^2 \cdot ч$)/т. Из традиционных коагулянтов лучшие результаты получены с использованием извести, так при оптимальном расходе $Ca(OH)_2$ 221,76 мг/л (600 г/т) возможно получить содержание твердого в осадке 60,32% при удельной площади осаждения 3,24 ($m^2 \cdot ч$)/т.

В качестве реагентов флокулянтов использовали: анионные флокулянты – Magnaflok 338, ПАА; неионогенные – Magnaflok 351, Superflok Н 300, расход флокулянтов изменялся от 1,845 до 18,45 мг/л (от 5 г/т до 50 г/т). Эти реагенты широко используются в практике переработки окисленных золотосодержащих руд на Васильевском руднике, Золотоизвлекательной фабрике ЗИФ 1 Олимпиадинского ГОКа.

При исследовании реагентов флокулирующего действия было выявлено что: оптимальный расход Magnaflok 338 составляет 1,845 мг/л (5 г/т). Данный расход позволяет получить содержание твердого в осадке 57,15% при удельной площади осаждения 0,82 ($m^2 \cdot ч$)/т. Исследование реагента Magnaflok 351 позволяет получить содержание твердого в осадке составляет 60,51% при удельной площади осаждения 1,01 ($m^2 \cdot ч$)/т. Реагент Superflok Н 300 при расходе 1,845 мг/л (5 г/т) позволяет получить содержание твердого в осадке 56,99% при удельной площади осаждения 1,03 ($m^2 \cdot ч$)/т. Оптимальный расход при использовании реагента ПАА составляет 7,38 мг/л (20 г/т). Данный расход позволяет получить содержание твердого в осадке 56,66% при удельной площади осаждения 0,9 ($m^2 \cdot ч$)/т.

В ходе проведения работы было выявлено, что оптимальным реагентом для интенсификации процесса сгущения, окисленной золотосодержащей руды является Magnaflok 351 при расходе 1,845 мг/л (5 г/т). Данный расход реагента позволяет получить содержание твердого в осадке 60,51% при небольшой удельной площади осаждения.

Финансирование

Работа выполнена в ИХХТ СО РАН, в рамках проекта FWES-2021-0014 (№ гос. рег. темы 121031500206-5).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was carried out in IHXT SB RAS within the framework of the project FWES-2021-0014 (state registration no. 121031500206-5).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ковкова Т.М. Совершенствование процесса сгущения хвостовой пульпы / Т.М. Ковкова, В.И. Кибирев // Обогащение руд. — 2006. — №3. — С. 54-55
2. Бауман А.В. Сгущение и водооборот. Комплексные решения «НОУ-ХАУ» / А.В. Бауман. – Новосибирск, Гормашэкспорт, 2011. — 52 с.
3. Бауман А.В. Критерии выбора радиального сгустителя для процессов сгущения и водооборота / А.В. Бауман // Обогащение руд. — 2013. — № 4. — С. 40–43.
4. Бауман А.В. Сгущение и водооборот на предприятиях цветной металлургии / А.В. Бауман // Сборник докладов VII Международного Конгресса «Цветные металлы и минералы». — Красноярск: 2015 г. — С. 791–795.
5. Каминский В.С. Интенсификация процессов обезвоживания / В.С. Каминский [и др.] — Москва: Недра, 1982. — 224 с.
6. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: Т. 1. Обогащительные процессы / В.М. Авдохин. — Москва: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — 417 с.
7. Исследование обогатимости руд пробы золотосодержащей коры выветривания: отчет НИР/СФУ, ИЦМиМ рук. Коннова, Красноярск, 2011 по договору №8/30408 от 01.08.2011г.-88 с.
8. Коннова Н.И. Особенности гравитационного обогащения золотоносных кор выветривания / Н.И. Коннова, Л.П. Пехова, Д.А. Гольсман [и др.] // Гонный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — №10. — С. 80-84.
9. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость / С.И. Митрофанов, Л.А. Барский, В.Д. Самыгин. — Москва: Недра, 1974. — 355с.
10. Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд / В.И. Зеленов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Недра, 1989. — 302 с.
11. Рожков В.П. Методы математической обработки статистического материала / В.П. Рожков. — Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. — 50 с.
12. Тусубаев Н.К. Интенсификация процесса сгущения и обезвоживания хвостовой пульпы ультрафлокуляционной обработкой / Н.К. Тусубаев, Н.Л. Медяник, А.М. Есенгазиев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — №4. — С. 149-156.

13. Дмитриева Е.Г. Исследование процесса сгущения тонкодисперсных хвостов золотосодержащих руд / Е.Г. Дмитриева, Г.И. Газалева, В.В. Мусаев [и др.] // Обогащение руд. — 2022. — №1. — С. 46-50.
14. Чернигов Д.А. Роль флокулянтов в процессах сгущения при переработке золотосодержащих руд / Д.А. Чернигов, Т.С. Минева // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов. Материалы XII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — 2022. — С. 91-94.
15. Морозов В.В. Повышение эффективности флотации апатит-штаффелитовых руд с применением режима двухстадиального сгущения шламов / В.В. Морозов, В.В. Поливанская // Руды и металлы. — 2021. — №4. — С. 121-131.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kovkova T.M. Sovershenstvovanie processa sgushheniya hvostovoj pul'py [Improvement of the Process of Tail Pulp Thickening] / T.M. Kovkova, V.I. Kibirev // Obogashhenie rud [Ore Enrichment]. — 2006. — No. 3. — pp. 54-55 [in Russian]
2. Bauman A.V. Sgushhenie i vodooborot. Kompleksnye reshenija «NOU-HAU» [Condensation and Water Circulation. Complex Solutions "KNOW-HOW"] / A.V. Bauman. — Novosibirsk, Gormasheksport, 2011. — 52 p. [in Russian]
3. Bauman A.V. Kriterii vybora radial'nogo sgustitelja dlja processov sgushhenija i vodooborota [Criteria for Choosing a Radial Thickener for Thickening and Water Circulation Processes] / A.V. Bauman // Obogashhenie rud [Ore Enrichment]. — 2013. — No. 4. — pp. 40-43. [in Russian]
4. Bauman A.V. Sgushhenie i vodooborot na predpriyatijah cvetnoj metallurgii [Condensation and Water Circulation at Non-ferrous Metallurgy Enterprises] / A.V. Bauman // Sbornik dokladov VII Mezhdunarodnogo Kongressa «Cvetnye metally i mineraly» [Collection of Reports of the VII International Congress "Non-ferrous Metals and Minerals"]. — Krasnoyarsk: 2015 — pp. 791-795. [in Russian]
5. Kaminsky V.S. Intensifikacija processov obezvozhivaniya [Intensification of Dehydration Processes] / V.S. Kaminsky [et al.] — Moscow: Nedra, 1982. — 224 p. [in Russian]
6. Avdokhin V.M. Osnovy obogashhenija poleznyh iskopaemyh: T. 1. Obogatitel'nye process [Fundamentals of Mineral Enrichment: Vol. 1. Enrichment Processes] / V.M. Avdokhin. — Moscow: Publishing House of the Moscow State Mining University, 2006. — 417 p. [in Russian]
7. Issledovanie obogatimosti rud proby zolotosoderzhashhej kory vyvetrivanija [Study of Ore Enrichment of a Sample of Gold-bearing Weathering Crust]: research report/SFU, ICMiM head Konnova, Krasnoyarsk, 2011 under contract No. 8/30408 dated 01.08.2011-88 p. [in Russian]
8. Konnova N.I. Osobennosti gravitacionnogo obogashhenija zolotonosnyh kor vyvetrivanija [Features of Gravitational Enrichment of Gold-bearing Weathering Cores] / N.I. Konnova, L.P. Pekhova, D.A. Golsman [et al.] // Gonnyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Gonny Informational and Analytical Bulletin]. — 2013. — No.10. — pp. 80-84. [in Russian]
9. Mitrofanov S.I. Issledovanie poleznyh iskopaemyh na obogatimost' [A Study of Minerals for Enrichment] / S.I. Mitrofanov, L.A. Barsky, V.D. Samygin. — Moscow: Nedra, 1974. — 355 p. [in Russian]
10. Zelenov V.I. Metodika issledovanija zoloto- i serebrosoderzhashhih rud [Methodology for the Study of Gold- and Silver-bearing Ores] / V.I. Zelenov. — 3rd ed., reprint. and add. — Moscow: Nedra, 1989. — 302 p. [in Russian]
11. Rozhkov V.P. Metody matematicheskoj obrabotki statisticheskogo materiala [Methods of Mathematical Processing of Statistical Material] / V.P. Rozhkov. — Krasnoyarsk: Gutsmiz, 2004. — 50 p. [in Russian]
12. Tusubaev N.K. Intensifikacija processa sgushhenija i obezvozhivaniya hvostovoj pul'py ul'traflokuljacionnoj obrabotkoj [Intensification of the Process of Thickening and Dehydration of Pine Pulp by Ultraflocculation Treatment] / N.K. Tusubaev, N.L. Medyanik, A.M. Esengaziev [et al.] // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh [Physico-technical Problems of Mineral Development]. — 2020. — No. 4. — pp. 149-156. [in Russian]
13. Dmitrieva E.G. Issledovanie processa sgushhenija tonkodispersnyh hvostov zolotosoderzhashhih rud [Investigation of the Process of Thickening of Fine Tails of Gold-bearing Ores] / E.G. Dmitrieva, G.I. Gazaleeva, V.V. Mусаev [et al.] // Obogashhenie rud [Ore Enrichment]. — 2022. — No. 1. - pp. 46-50. [in Russian]
14. Chernigov D.A. Rol' flokuljantov v processah sgushhenija pri pererabotke zolotosoderzhashhih rud [The Role of Flocculants in the Processes of Thickening during the Processing of Gold-bearing Ores] / D.A. Chernigov, T.S. Mineeva // Perspektivy razvitija tehnologii pererabotki uglevodorodnyh i mineral'nyh resursov. Materialy XII vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Prospects for the Development of Technology for Processing Hydrocarbon and Mineral Resources. Materials of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation]. — 2022. — P. 91-94. [in Russian]
15. Morozov V.V. Povyshenie jeffektivnosti flotacii apatit-shtaffelitovyh rud s primeneniem rezhima dvuhstadial'nogo sgushhenija shlamov [Improving the Efficiency of Flotation of Apatite-staffelite Ores Using the Regime of Two-stage Thickening of Sludge] / V.V. Morozov, V.V. Polivanskaya // Rudy i metally [Ores and Metals]. — 2021. — No. 4. — pp. 121-131. [in Russian]