

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 622.765.06

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ “УПОРНЫХ” ФОРМ ЗОЛОТА
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

В.С. Алексеев

Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Для эффективного извлечения мелкого и тонкого золота предложен способ предварительной обработки концентрата химическими реагентами на основе галогенидов. Определены рациональные дозировки и разработана схема цепи аппаратов оборудования ШОУ с предварительной реагентной обработкой концентратов драг и промывочных приборов.

Ключевые слова: золото, россыпи, технология извлечения, химические реагенты.

В связи с отработкой богатых россыпных месторождений и необходимостью вовлечения в эксплуатацию россыпей со сложными условиями залегания, развитие золотодобывающей промышленности во многом связано с созданием физико-химической геотехнологии. Это обусловлено также и тем, что значительный потенциал техногенных россыпей, содержащих существенную долю мелкого (минус 0,25 мм) и особо мелкого (менее 0,1 мм) золота в настоящее время используется с низкой эффективностью, так как отработка их ведётся, как правило, с использованием в процессе обогащения в традиционных шлюзовых аппаратах.

В Институте горного дела ДВО РАН разработан и совершенствуется новый способ предварительной обработки золотосодержащих концентратов драг и промывочных приборов химическими реагентами на основе йодсодержащих галогенидов. Исследованиями установлено, что в процессе взаимодействия концентрата с реагентом при перемешивании частицы золота покрываются новой пленкой, приобретают гидрофильные свойства (высокую степень смачиваемости) и хорошо извлекаются. Кроме того, новая пленка не обладает магнитными свойствами, и вероятность ее захвата в процессе магнитной сепарации минимальна.

Однако в результате промышленных испытаний этой технологии на Соловьевском прииске (Амурская область) получены различные показатели прироста извлечения, что можно объяснить разнообразием вещественного состава, в частности наличием тяжелых, в том числе магнитных, минералов шлихового комплекса.

Поэтому была поставлена задача исследовать влияние минерального состава исходного дражного концентрата, поступающего с различных россыпных месторождений, на качество реагентной обработки и определить соответствующие режимные параметры технологии.

Целью исследований являлось изучение режимных условий среды предварительного физико-химического воздействия на золотосодержащий концентрат для повышения эффективности извлечения мелкого и дисперсного золота.

Для достижения поставленной цели исследований выполнены лабораторные эксперименты по обогащению “базовых (эталонных)” шлихов по единой технологической схеме при различных соотношениях тяжелой и легкой фракций в шихте. В качестве эталонных шлихов использовали реальные продукты одной из старательских артелей дальневосточного региона. Для исключения возможной неоднородности в распределении золота по опытам в подготовленную шихту вводили по 165 мг ценного компонента на 1 кг навески. Гранулометрический состав золота базовых шлихов приведен в таблице № 1. По результатам эксперимента оценивалось влияние исследуемого фактора на эффективность извлечения золота и потери его с хвостами.

Первая серия экспериментов проведена без реагентной обработки, вторая и третья – на идентичных составах шихты, но после предварительной реагентной обработки материала индивидуальным галогеном (режим 1) – 2 серия, и смесью галогенидов (режим 2) – 3 серия. Всего было исследовано 10 составов шихт (таблица 2).

Таблица 1. Гранулометрический состав и распределение золота по классам крупности базовых шлихов.

Класс крупности, мм	Наименование фракции			
	Тяжелая		Легкая	
	Выход класса, %	Распределение золота, %	Выход класса, %	Распределение золота, %
-2+1	7.75	8.29	9.31	0.4
-1+0.4	41.95	66.20	41.84	1.5
-0.4+0.2	50.30	25.51	33.52	5.77
-0.2+0.1	-	-	11.08	74,33
-0.1	-	-	4.25	17,99
Итого	100.0	100.00	100,00	100,00

Таблица 2. Составы “базовых” шлихов для обогащения.

№ шихты пп	Состав шихты, %		Золото в опыте, мг		Всего в опыте, мг
	Тяжелая фракция	Легкая фракция	Собственное	Введенное	
1	33	67	116,09	165	281,09
2	20	80	70,84	165	235,84
3	60	40	206,92	165	371,92
4	43	57	148,75	165	313,75
5	0	100	1,68	165	166,68
6	57	43	197,05	165	362,05
7	67	33	229,71	165	394,71
8	25	75	87,85	165	252,85
9	40	60	138,88	165	303,88
10	100	0	343,0	-	343,0

Исследования проб проведены по гравитационной схеме обогащения, включающей центробежную сепарацию, концентрацию на концентрационном столе, выделение золота из концентратов под биноклем и аналитическое определение золота в хвостах и промежуточных продуктах. Используемые в качестве базовых пробы содержали золото, потерянное при промывке песков в полевых условиях. Золото преимущественно мелкое (82,8 %) и тонкое (17,2 %). При минералогическом анализе установлено, что тяжелая фракция содержит 200 г/т, методом атомной абсорбции (ААС) содержание золота определено на уровне 343 г/т. Легкая фракция содержит 12 г/т (мин. анализ) и 2,8 г/т (ААС). Для расчетов баланса ценных компонентов использованы данные ААС.

Навеску шихты, после введения указанного количества самородного золота, помещали в агитационную камеру и при Т:Ж = 1:1,5 агитировали с содой, количество которой обеспечивало требуемый уровень рН, затем добавляли фиксированное количество галогенидсодержащего раствора в количестве из расчета 50 г/т. Процесс активной агитации продолжался 30 минут, затем материал шихты перегру-

жали в приемный бункер, в котором он выдерживался в течение 12–18 часов, после чего материал обогащали на центробежном концентраторе Нельсона-3,5'. Хвосты концентратора анализировали на остаточное содержание золота, а концентрат классифицировали на узкие классы, подвергали магнитной сепарации и последующей концентрации на столе. В табл. 3 показаны данные, полученные при обогащении проб.

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, результаты по извлечению свободного золота далеко не однозначны, наблюдается как прирост извлечения (шихты 2, 5, 8), так и его снижение (шихты 1, 4, 6, 9). В экспериментах с шихтой №3 и №10 эффективным оказался режим 2, а с шихтой №7 – режим 1. Поскольку потери золота представляют сумму золота в хвостах центробежного концентратора, концентрационного стола и магнитной фракции, проведена оценка эффективности извлечения золота в зависимости от условий предварительной реагентной обработки. На рис. 1, 2, 3 приведены кривые распределения потерь золота с хвостами (в процентах) обработки “базовых” шлихов различного состава на центробежном сепараторе и концентрационном столе.

Как видно из данных на рис. 1, включение предварительной реагентной обработки в большинстве случаев способствует снижению потерь золота с хвостами центробежной концентрации. Применение смеси иодидов (режим 2) характеризуется снижением зависимости результатов обогащения от состава шихты, исключение представляют составы, содержащие свыше 60 % тяжелой фракции (шихта №7). Следовательно, центробежная концентрация материалов, отличающихся высоким содержанием тяжелых

Таблица 3. Сравнительные технологические данные, полученные при обогащении «базовых» шлихов.

№ шихты в матрице планирования	Извлечено свободного Au, %		
	из исходной шихты, без обработки	из шихты, обработанной реагентом в режиме 1	из шихты, обработанной реагентом в режиме 2
1	74,57	72,79	72,47
2	78,02	82,77	82,30
3	64,53	60,44	65,39
4	73,21	66,97	67,79
5	85,43	90,53	90,23
6	74,05	60,35	72,31
7	62,25	68,63	52,60
8	66,32	88,59	75,82
9	74,37	61,01	71,67
10	70,95	64,27	76,77

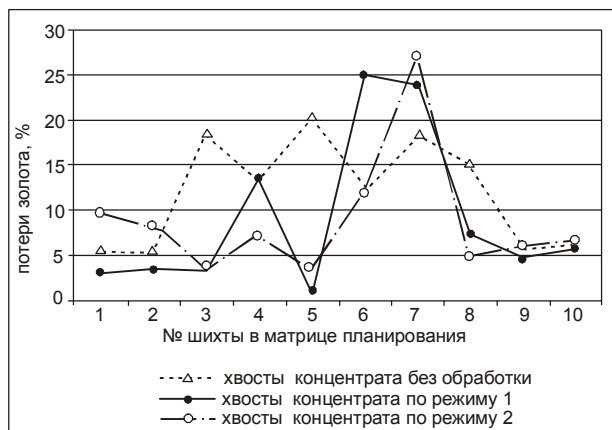


Рис. 1. Изменение потерь золота с хвостами центробежной концентрации.

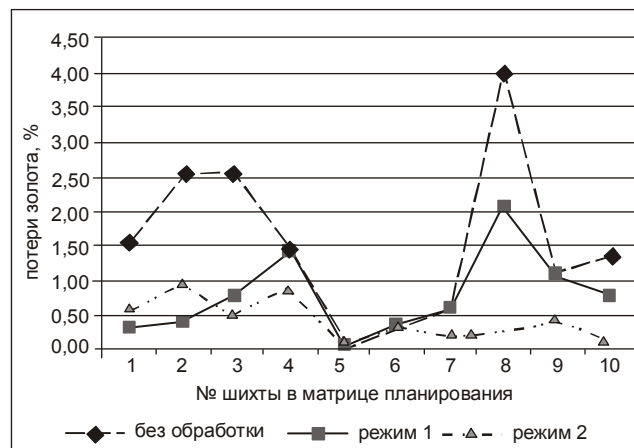


Рис. 3. Потери золота с магнитной фракцией.

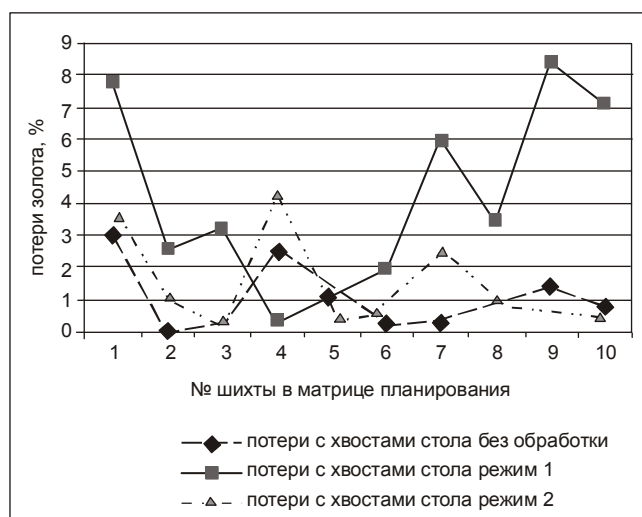


Рис. 2. Потери золота с хвостами концентрационного стола.

фракций и, соответственно, повышенным количеством свободного золота, проблематична. В среднем потери золота с хвостами концентратора из шлихов без обработки реагентом составляют 12,05%, обработанных по режиму 1 – 9,14%, а обработанных по режиму 2 – 9,07%.

Анализ потерь золота с хвостами концентрационного стола показал (рис.2), что при доводке концентрата, прошедшего реагентную обработку по режиму 2, золото достаточно эффективно выделяется в обогащенный концентрат (головку). Это подтверждается тем, что извлечение золота из хвостов концентрационного стола при обогащении концентрата по режиму 2 меньше, чем при режиме 1.

На рис. 3 приведены данные по потерям золота с магнитной фракцией, выделяемой из концентратов центробежного концентратора. Хорошо видно, что присутствие реагентов способствует снижению захвата золота магнитными минералами.

Наиболее сильное воздействие оказывает смесь галогенидов (режим 2), что, вероятно, связано с образованием поверхностных пленок на поверхности золотин. Следует отметить, что эффективность магнитной сепарации в результате введения реагентов возрастает, что подтверждается многочисленными лабораторными исследованиями.

Анализируя регрессионные зависимости влияния реагента на извлечение золота от содержания тяжелых фракций, полученные методами математической статистики (в данной статье они не приводятся), можно констатировать, что включение реагентной обработки обеспечивает повышение эффективности центробежной концентрации, причем использование смеси галогенидов предпочтительнее. Получены аналитические зависимости, позволяющие расчетным путем определять параметры реагентной технологии при доводке концентратов в зависимости от содержания тяжелых шлихов. **Введение дополнительного галогенида способствует снижению зависимости потерь золота от состава шихты, что свидетельствует о различии характера протекающих в пульпе физико-химических процессов.**

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить:

- Использование галогенсодержащих растворов в процессах доводки шлиховых концентратов обеспечивает прирост извлечения золота традиционными гравитационными аппаратами в среднем на 3–5%;

Таблица 4. Результаты промышленных испытаний технологии физико-химической обработки концентратов драг и хвостов доводки (ОАО “Прииск Соловьевский”, 2004).

Номер драги	Извлечение золота из концентрата, г				Масса Au, извлеченного из хвостов доводки концентрата, мг					
	Без реагентной обработки		С реагентной обработкой		Без обработки хвостов реагентом			С реагентной обработкой хвостов		
	Масса концентрата, кг	Масса Au, г	Масса концентрата, кг	Масса Au, г	Всего хвостов доводки: хвосты, кг масса Au, мг	В том числе: хвосты, кг масса Au, мг		Всего хвостов доводки: хвосты, кг масса Au, мг	В том числе: хвосты, кг масса Au, мг	
						немагнитные фракции	магнитные фракции		немагнитные фракции	магнитные фракции
Драга № 110	120	590	120	635	120 2321,4	66 1096	54 825,1	120 736,7	66 459,6	54 496,7
Драга № 229	177	3305	177	3385	177 3871,6	75 963,3	102 2908,3	177 2482,4	75 1306	102 1176,4
Итого	297	3895	297	4020	297 6193	141 2059,3	156 3733,4	297 3438,7	141 1765,6	156 1673,1
Содержание	13,1 кг/т		13,5 кг/т		20,85 г/т	14,6 г/т	23,9 г/т	11,6 г/т	12,5 г/т	10,7 г/т
Выводы	Содержание золота увеличилось на 3,1 %, в том числе: по драге № 1 - на 7,1 % ; по драге № 2 - на 2,4 %				-	-	-	Потери золота в хвостах уменьшились: в 1,8 раз на 16,8 % в 2,2 раза		

· На технологические показатели и эффективность работы обогатительных аппаратов оказывает существенное влияние состав шихты, поэтому необходимы дополнительные исследования с целью подбора параметров реагентного режима применительно к конкретному типу шихты и применяемого обогатительного аппарата;

· Предварительная реагентная обработка материала шихты, особенно смесью галогенидов (режим 2), в большинстве случаев способствует повышению эффективности магнитной и центробежной сепарации;

· Реагентная обработка материала индивидуальным галогеном (режим 1) требует более тонкой регулировки параметров работы концентрационного стола.

В 2004 году в ШОУ Соловьевского прииска проводились опытно-промышленные испытания реагентной технологии. Обработке реагентом подвергался золотосодержащий концентрат, поступающий на доводку в ШОУ.

Результаты извлечения золота в концентрат на столе СКО-2 после обработки химическими реагентами приведены в табл. 4.

Были также определены потери металла в хвостах переработки концентрата при их обработке реагентами и без обработки. Данные о величине извлеченного золота из хвостов концентрационного стола, немагнитных и магнитных фракций сепаратора, обработанные реагентом и без реагента, также приведены в таблице 4.

Установлено, что при реагентной обработке концентратов двух драг прирост золота при доводке в ШОУ составил 3,1 % в сравнении с традиционной технологией, при этом потери металла в хвостах доводки уменьшились в среднем в 1,8 раза, в том числе потери с немагнитной фракцией снизились на 16,8 %. В магнитных материалах хвостов концентратов, обработанных реагентом, отмечено уменьшение потерь золота в 2,2 раза.

На рисунке 4 показана диаграмма изменения ситового состава золота в концентрате одной из драг с реагентом и без реагентной обработки. Из диаграммы видно, что доля мелких фракций золота (до 0,315

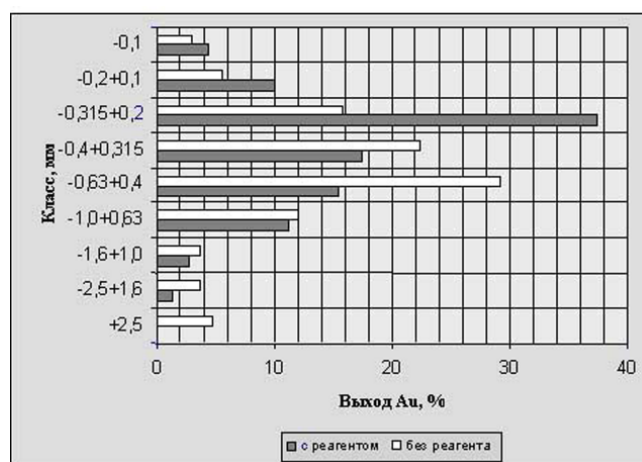


Рис. 4. Изменение крупности золота после реагентной обработки хвостов доводки концентрата одной из драг Соловьевского прииска.

мм) после реагентного воздействия увеличивается от 5 до 37,5 %, т.е. четко проявляется процесс агрегирования мелких и дисперсных фракций.

В июле–августе 2005 года опытно-промышленные испытания реагентной технологии проводились непосредственно на драге № 111. Концентрат стола СКО-7,5 с бикарбонатом натрия и реагентами загружался в смеситель и после 30 минутной активации с реагентами отправлялся на ШОУ, где его обработку проводили по традиционной технологии.

Результаты этих испытаний представлены в табл. 5.

Из таблицы результатов видно, что доля золота, полученного из отсадочного концентрата после предварительной обработки реагентом (графа 12), превышает

этот показатель (графа 11) на 4,7 % общей дражной добычи золота.

Расчеты показывают, что при годовой добыче драги, равной 100 кг, в результате предварительного воздействия на концентрат отсадки можно получить 4,7 кг дополнительного золота.

Результаты промышленной проверки технологии предварительной реагентной обработки концентрата отсадки непосредственно на драге № 111 выражены в изменении ситовой характеристики золота (табл. 6).

Из таблицы следует, что в процессе обработки концентрата реагентом происходит агрегирование мелких частиц золота путем их слипания, что резко снижает потери при доводке в ШОУ.

Таблица 5. Результаты производственных испытаний технологии предварительной обработки концентрата отсадки на драге № 111 (2005 г.).

Исходные продукты испытаний	Условия опыта	Количество извлеченного золота (в граммах)									
		опыт 1 (28.07)	опыт 2 (1.08)	опыт 3 (5.08)	опыт 4 (9.08)	опыт 5 (13.08)	опыт 6 (17.08)	опыт 7 (21.08)	опыт 8 (25.08)	б/р	с/р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Концентрат отсадки («Груд-12»)	без реагента	650	-	-	700	-	-	640	680	2670	-
	с реагентом	-	620	1050	-	520	580	-	-	-	2770
Концентрат шлюзов (бугара)	-	1130	1100	2590	1430	790	1080	1625	2500	5685	5560
Всего:		1780	1720	3640	2130	1310	1660	2265	3180	9355	8330
отношение (в %): <u>Аи к-та с реагент</u> Аи к-та шлюзов		57,5	56,4	40,5	49,0	65,8	53,7	39,4	27,2	46,97	49,82
Доля в общей добыче драги (%)		36,5	36,1	28,8	32,9	39,7	3,5	28,3	21,4	28,54	33,25

Таблица 6. Ситовая характеристика золота из концентрата шлюзов и отсадки драги № 111.

№ драги, дата	Условия опыта	Класс крупности золота, мм							Всего мг / %
		+ 1,6	-1,6 + 1,0	- 1,0 +0,5	- 0,5 +0,315	- 0,315 + 0,2	- 0,2 +0,1	- 0,1	
драга № 111, 5.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	-	54	760	5500	2390	3	шлих	9065
	Концентрат отсадки с реагентом	-	0,6	8,4	60,4	26,4	4,2	-	100 %
драга № 111, 10.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	610	575	3520	6000	2510	-	-	13215
	Концентрат отсадки с реагентом	4,6	4,4	26,6	45,4	19,0	-	-	100 %
драга № 111, 10.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	-	80	780	6000	1740	110	95	8805
	Концентрат отсадки, без реагента	-	0,9	8,9	68,1	19,8	1,2	1,1	100 %
драга № 111, 10.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	-	-	140	975	400	2900	540	4955
	Концентрат отсадки, без реагента	-	-	2,8	19,7	8,1	58,5	10,9	100 %
драга № 111, 13.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	-	-	80	703	162	51	136	1132
	Концентрат отсадки с реагентом	-	-	7,0	62,1	14,3	4,6	12,0	100 %
драга № 111, 13.08.05	Концентрат шлюзов, без реагента	-	-	43	286	50	3	-	382
	Концентрат отсадки с реагентом	-	-	11,3	74,8	13,1	0,8	-	100 %

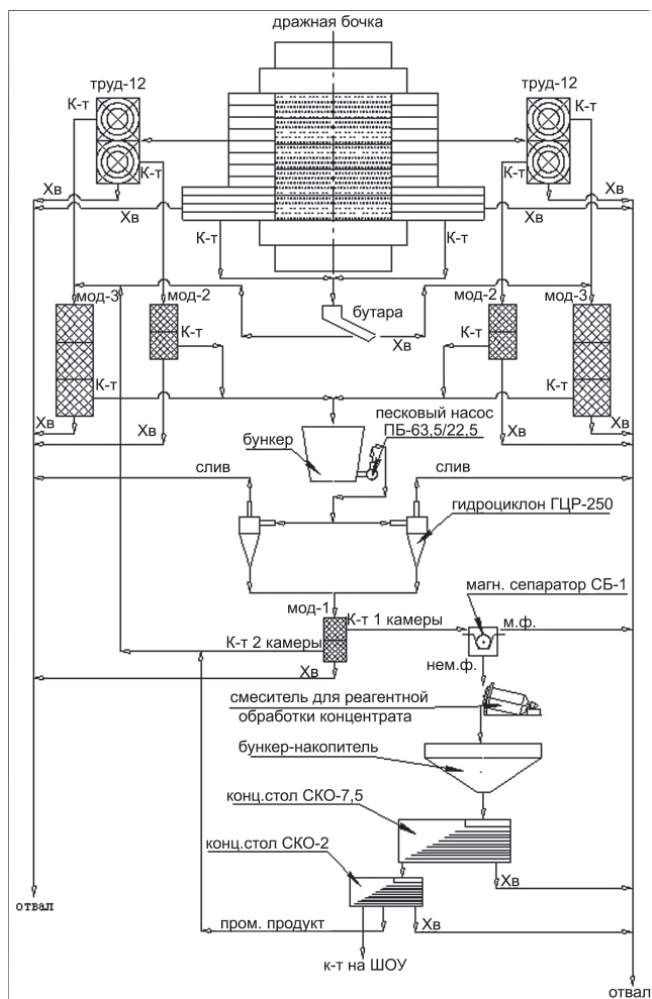


Рис. 5. Схема цепи аппаратов драги №111, дополненная оборудованием для реagentной обработки концентрата.

В связи с полученными результатами, лабораторией проблем освоения россыпных месторождений предлагается дополнить схему обогащения драги оборудованием для предварительной обработки зо-

лотосодержащего концентрата реагентами. Такая схема показана на рис.5.

Предложенные реагенты являются экологически чистыми и относительно дешевыми, что позволяет широко применять их при доводочных операциях. Расход химреагентов – 50 г на 1 т концентрата. Затраты на 1 т – 0,2 тыс. руб., в том числе реагента – 0,08 руб.

Энергоемкость процесса не превышает 2 кВт.ч./на 1 тонну концентрата. Расчеты показывают, что затраты на предварительную обработку окупаются при обработке 100 кг золотосодержащего концентрата драги или промывочного прибора.

ВЫВОДЫ

Установлены закономерности изменения параметров процесса реagentной технологии обработки концентратов драг и промывочных приборов в зависимости от содержания тяжелых шлихов. Определены рациональные дозировки и разработана схема цепи аппаратов оборудования ШОУ с предварительной реagentной обработкой концентратов драг и промывочных приборов. Обработка дражных концентратов химическими реагентами повышает извлечение золота до 5 % за счет изменения свойств его поверхности и снижения потерь с магнитными хвостами доводки. Предложены рекомендации по совершенствованию технологии обогащения на драге с целью повышения извлечения мелкого и тонкого золота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беневольский Б.И., Шевцов Т.П. О потенциале техногенных россыпей золота Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. 2000. № 1. С. 14–18.
2. Литвинцев В.С., Мамаев Ю.А. и др. Исследования содержания и гранулометрии тонкодисперсных образований погребенной россыпи Приамурья // Обогащение руд. 2005. № 1. С. 20–23.

Поступила в редакцию 7 марта 2006 г.

Рекомендована к печати Ю.А. Мамаевым

V.S. Alekseev

The investigation of the processes of “rebellious” gold extraction by physical-and-chemical action

The method of concentrate pretreatment by chemical reagents based on halogenides is proposed for effective extraction of fine and thin gold. Rational dosages were defined, and a scheme of the chain of the SHOW equipment devices was developed together with reagent pretreatment of concentrates of dredges and flushing devices.

Key words: gold, placers, extraction technology, chemical reagents.