

*Мырзалиев Б.М., Ногаева К.А., Молдобаев Э.С., Куручбек уулу Ж.*  
**«ДЖАМГЫР» КЕНИНЕ ФЛОТАЦИЯНЫН СХЕМАСЫН ЖАНА  
 РЕАГЕНТТИК РЕЖИМИН ИШТЕП ЧЫГУУ**

*Мырзалиев Б.М., Ногаева К.А., Молдобаев Э.С., Куручбек уулу Ж.*  
**РАЗРАБОТКА СХЕМЫ И РЕАГЕНТНОГО РЕЖИМА ФЛОТАЦИИ  
 РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ДЖАМГЫР»**

*B.M. Myrzaliev, K.A. Nogaeva, E.S. Moldobaev, Kuruchbek uulu J.*  
**DEVELOPMENT OF THE SCHEME AND REAGENT MODE OF OIL  
 FLOTATION OF THE «DZHAMGIR» DEPOSIT**

УДК: 622.765.06.553.3/4

Макалада «Жамгыр» кенине схема жана флотациянын реагенттик режимин иштеп чыгуу үчүн изилдөөнүн жыйынтыгы талкууланат. Изилденген кен азсульфиддүү кварц түрүнө кирип, ири алтынды кварцта жана майда алтынды пиритте камтыйт. Бош алтындын калкуусун жогорулатуу үчүн, курчап турган чөйрөнү, ар кандай, жөнгө салуучулар, коллекторлор жана көбүртүү агенттери менен сыналгып чыккан. Жогорку сапаттагы, алтын максималдуу түрдө чыга турган, флотоконцентратты алуу үчүн флотациялык реагенттер жана флотациялык режимдер аныкталган. Макалада белгиленди, мыкты технологиялык индикатордук көрсөткүчтү алуу үчүн жыйноочу AERO-5002 менен айлана чөйрөнү көзөмөлдөө пайдаланбастан алынган деп табылган. Ири алтындын морфологиясын изилдөөдө флотациянын продуктунда жыйноочу AERO-5688 ири бош алтынды чыгарып алуу үчүн натыйжалуу болуп эсептелсе, ал эми AERO-5002 пирит менен байланышкан майда алтынды натыйжалуу көрсөтүлдү. Сосновое масло айлана чөйрөнү көзөмөлдөөнү пайдаланбаган натыйжалуу көбүк жаратуучу болуп кабыл алынды.

**Негизги сөздөр:** кендик, флотация, кен, чыгарып алуу, кендин флотациялоонусу, флотациялык байытуу, флотация режимини.

В статье обсуждаются результаты исследований по разработке схемы и режима реагента флотации руды на месторождении «Джамгыр». Изученная руда относится к кварцевому типу низкого сульфида, содержит крупное золото, связанное с кварцем и мелким в пирите. Были протестированы различные регуляторы окружающей среды, коллекторы, вспенивающие агенты, повышающие плаваемость свободного золота. Определены флотационные реагенты и флотационные режимы для получения высококачественного флотационного концентрата с максимальным извлечением золота. В статье установлено, что лучшие технологические индикаторы были получены без использования регулятора среды с коллектором AERO-5002. Изучение морфологии свободного золота в продуктах флотации показало, что сборщик AERO-5688 наиболее эффективен для извлечения крупного свободного золота, а AERO-5002 для мелкого золота связанного с пиритом. Сосновое масло является наиболее эффективным пенообразователем без регулятора среды.

**Ключевые слова:** месторождение, флотация, руда, извлечение, флотиримость руды, флотационная обогатимость, режимы флотации.

*In the article discusses the results of studies on the development of the scheme and the reagent regime of ore flotation at the Jamgyr field. The studied ore belongs to the quartz type of low sulphide, contains large gold, associated with quartz and fine in pyrite. Various environmental regulators, collectors, blowing agents that increase the floatability of free gold and gold pyrite have been tested. Flotation reagents and flotation regimes were determined to obtain high-quality flotation concentrate with maximum gold recovery. In article established that the best technological indicators were obtained without the use of a medium regulator, with the AERO-5002 collector. A study of the morphology of free gold in flotation products revealed that the AERO-5688 collector is most effective for extracting large free gold, and AERO-5002, thin free gold and associated with pyrite is most effective. Pine oil is the most effective foaming agent without a medium regulator.*

**Key words:** field, flotation, ore, extraction, floatability of ore, flotation concentration, flotation regimes.

Руда месторождения «Джамгыр» относится к кварцевому малосульфидному типу золотосодержащих руд. Золото в руде самородное размером от долей микрометра до первых миллиметров. Морфология частиц золота зависит от характера ассоциации золота с рудными и породообразующими минералами. Крупное золото, как правило связано с кварцем и имеет размерность от 50 до 800 мкм в основном дендритовидной формы и сростки чешуек. Мелкое золото, как правило, встречается в пирите в виде прожилков толщиной 2-10 мкм и включений неправильной формы от 2 до 40 мкм, а также отмечены весьма тонкие (менее 2мкм) включения золота в арсенипирите [1]. В связи с этим были испытаны флотационные реагенты, которые способствовали флотации крупного свободного золота и золотосодержащего пирита.

Флотационная активность золота и золотосодержащих сульфидных минералов зависит от их происхождения и технологических особенностей. Крупность, геометрическая форма зерен, химический состав поверхности золотин и сульфидных минералов являются наиболее значимыми факторами, влияющими на флотационную обогатимость руд [2-3]. Влияние типа собирателя, вспенивателя и модификаторов на показатели флотации часто находятся в тесной взаимной связи между собой [4-5].

Флотируемость свободного золота и пирита зависит от типа применяемого модификатора рН. Для руды месторождения «Джамгыр» наиболее высокие технологические показатели были получены без

подачи регулятора среды (рис.1, табл. 1) (опыт 27): суммарный флотационный концентрат содержал 76,80 г/т золота при извлечении 92,61%.

Таблица 1

Результаты открытых флотационных опытов по выбору регулятора среды

Опыт	Продукт	Выход	Содержание, г/т, %	Извлечение, %
		%	Au	Au
14 <i>NaOH</i>	к-т I основная флотация	4,42	160,5	80,05
	к-т II основная флотация	4,00	20,9	9,43
	<i>Сумма</i>	<b>8,42</b>	<b>94,18</b>	<b>89,48</b>
	к-т контрольная флотация	1,96	1,38	0,31
	<i>Сумма</i>	<b>10,38</b>	<b>76,66</b>	<b>89,79</b>
	Хвосты	89,62	1,01	10,21
	Руда	100,00	8,86	100,00
20 <i>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	к-т I основная флотация	2,85	223,6	76,62
	к-т II основная флотация	3,17	20,9	7,97
	<i>Сумма</i>	<b>6,02</b>	<b>116,86</b>	<b>84,59</b>
	к-т контрольная флотация	2,10	1,56	0,39
	<i>Сумма</i>	<b>8,12</b>	<b>87,04</b>	<b>84,98</b>
	Хвосты	91,88	1,36	15,02
	Руда	100,00	8,32	100,00
21 <i>CaO-700 г/т рН-11,19</i>	к-т I основная флотация	14,88	50	87,62
	к-т II основная флотация	7,64	6,19	5,57
	<i>Сумма</i>	<b>22,52</b>	<b>35,14</b>	<b>93,19</b>
	к-т контрольная флотация	2,38	0,96	0,27
	<i>Сумма</i>	<b>24,90</b>	<b>31,87</b>	<b>93,46</b>
	Хвосты	75,10	0,74	6,54
	Руда	100,00	8,49	100,00
27 <i>Без реагента рН 8,34</i>	к-т I основная флотация.	5,09	141,21	84,56
	к-т II основная флотация	3,00	12,98	4,58
	<i>Сумма</i>	<b>8,09</b>	<b>93,66</b>	<b>89,14</b>
	к-т контрольная флотация	2,16	13,66	3,47
	<i>Сумма</i>	<b>10,25</b>	<b>76,80</b>	<b>92,61</b>
	Хвосты	89,75	0,7	7,39
	Руда	100,00	8,50	100,00

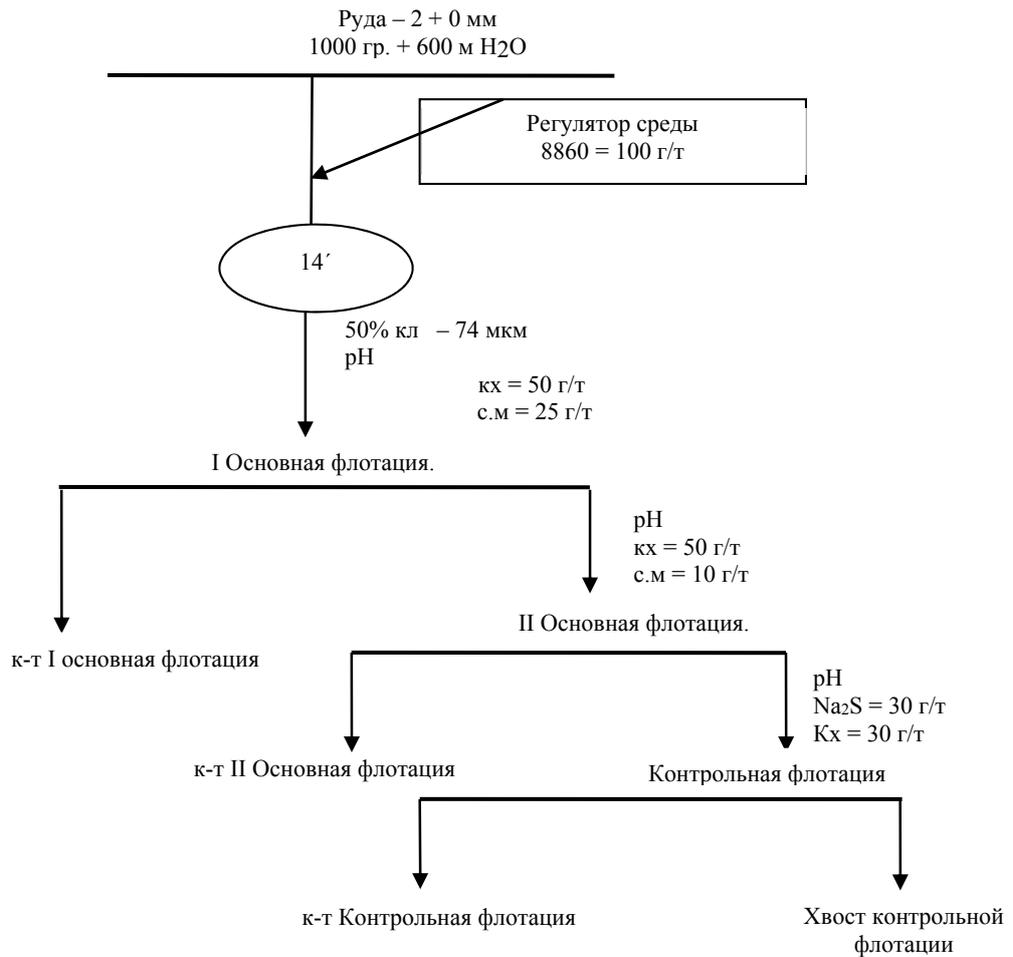
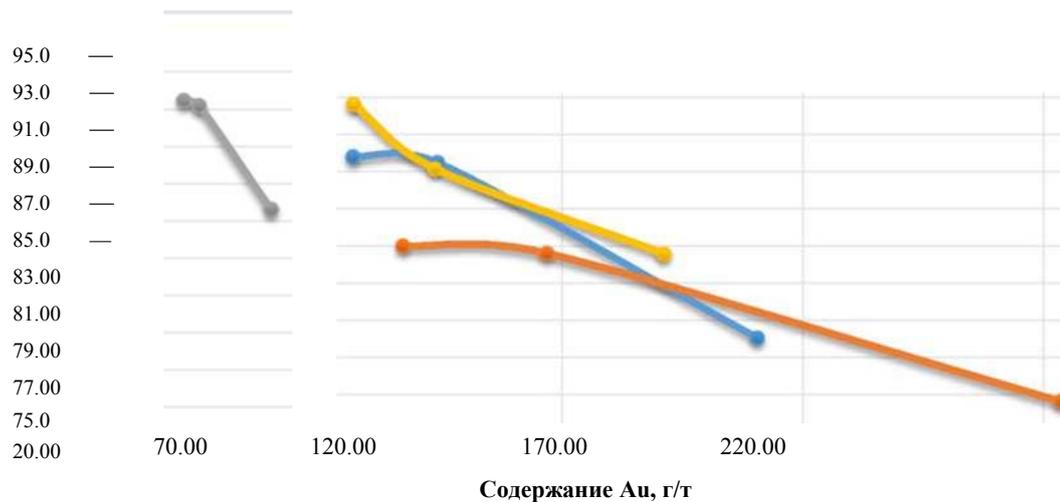


Рис. 1. Схема опытов по изучению влияния регулятора среды на флотацию золота.



Оп. 14 NaOH, pH - 9.7 Оп. 20 Сода, pH - 10.0  
Оп. 21 CaO, pH - 11.1 Оп. 27 без регулятора среды, pH - 8.34

Рис. 2. Влияние регуляторов среды на флотируемость золота бутиловым ксантогенатом и сосновым маслом.

В процессе проведения лабораторных исследований было изучено влияние следующих реагентов-модификаторов на флотированность золота (рис. 3, табл. 2) АЕРО-8860-модифицированный полиакриламид многофункционального действия, используемый в данном случае для удаления глинисто-слюдистых минералов с поверхности золота.

Медный купорос для активации флотации золота, связанного с пиритом, особенно покрытого гидроксидами железа.

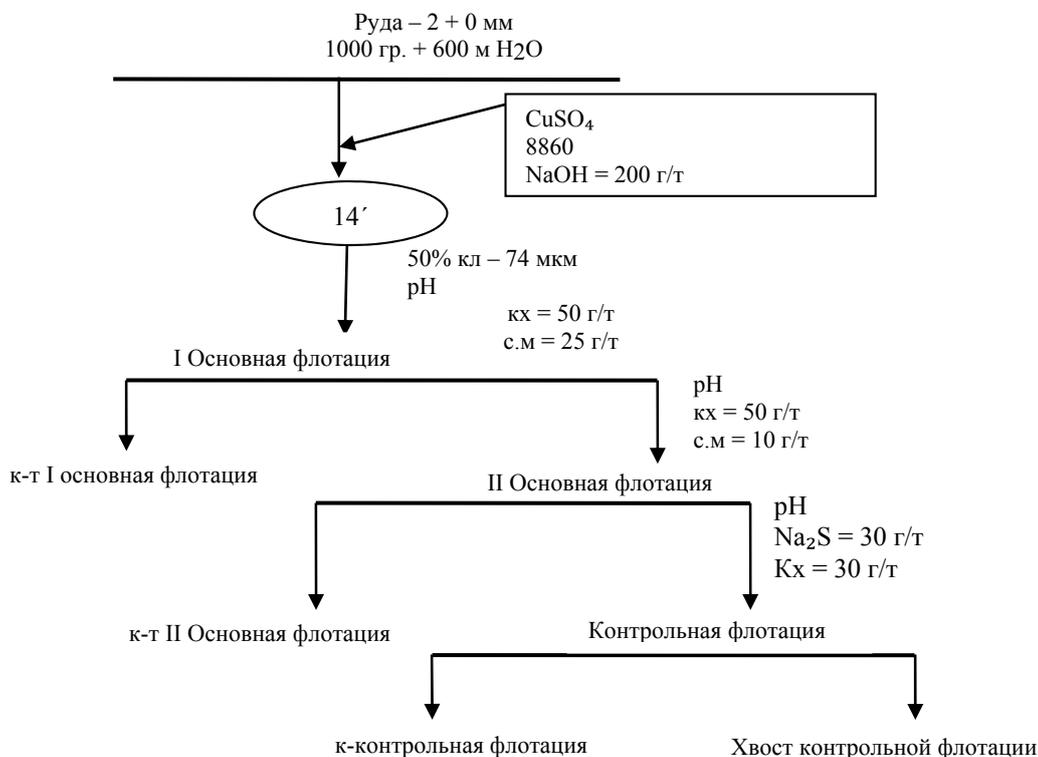


Рис. 3. Схема опытов по изучению влияния модификаторов на флотацию золота.

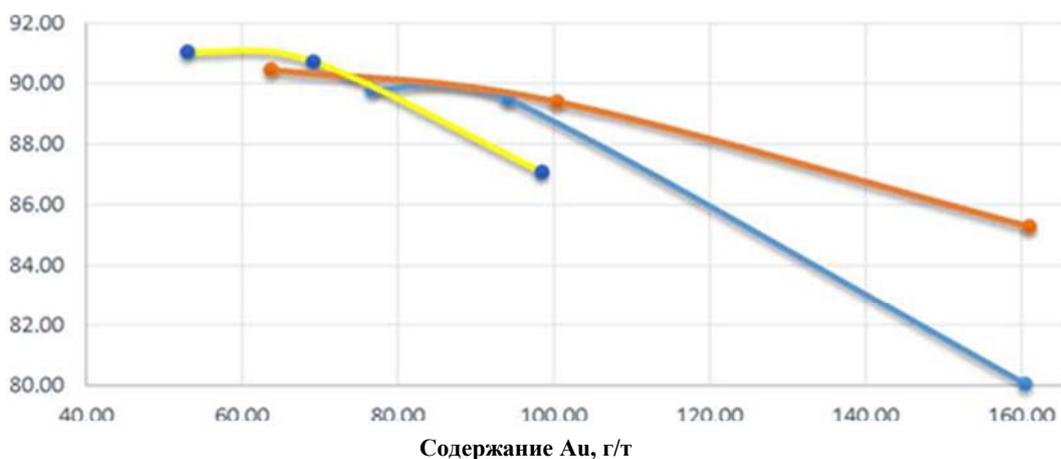
Результаты опытов оценивались по двум факторам: извлечение золота и качество полученного золотосодержащего концентрата (рис. 4). Тенденция действия модификаторов флотации такова, что АЕРО-8860 (оп. 14) снижает извлечение золота в концентрат I основной флотации по сравнению с оп. 22 на 7%, но повышает качество концентрата с 98,5 г/т до 160,5 г/т. В оп. 18 с добавлением медного купороса был получен I основной концентрат 161,03 г/т при более высоком извлечении 85,28%, чем в оп. 14. В оп. 22 без подачи модификаторов получено более низкое качество концентратов.

Таблица 2

Влияние различных модификаторов на флотированность золота

№ опыта	Продукт	Выход	Содержание, г/т, %	Извлечение, %
		%	Au	Au
14	к-т I основная флотация	4,42	160,5	80,05
	к-т II основная флотация.	4,00	20,9	9,43
	Сумма	8,42	94,18	89,48
	к-т контрольная флотация	1,96	1,38	0,31
	Сумма	10,38	76,66	89,79
	Хвосты	89,62	1,01	10,21
	Руда	100,00	8,86	100,00

18	к-т I основная флотация	4,49	161,03	85,28
	к-т II основная флотация	3,06	11,47	4,14
	Сумма	7,55	100,41	89,42
	к-т контрольная флотация	4,49	1,96	1,04
	Сумма	12,04	63,70	90,46
	Хвосты	87,96	0,92	9,54
	Руда	100,00	8,48	100,00
22	к-т I основная флотация	7,29	98,5	87,08
	к-т II основная флотация	3,53	8,5	3,64
	Сумма	10,82	69,14	90,72
	к-т контрольная флотация	3,35	0,8	0,33
	Сумма	14,17	52,98	91,05
	Хвосты	85,83	0,86	8,95
	Руда	100,00	8,25	100,00



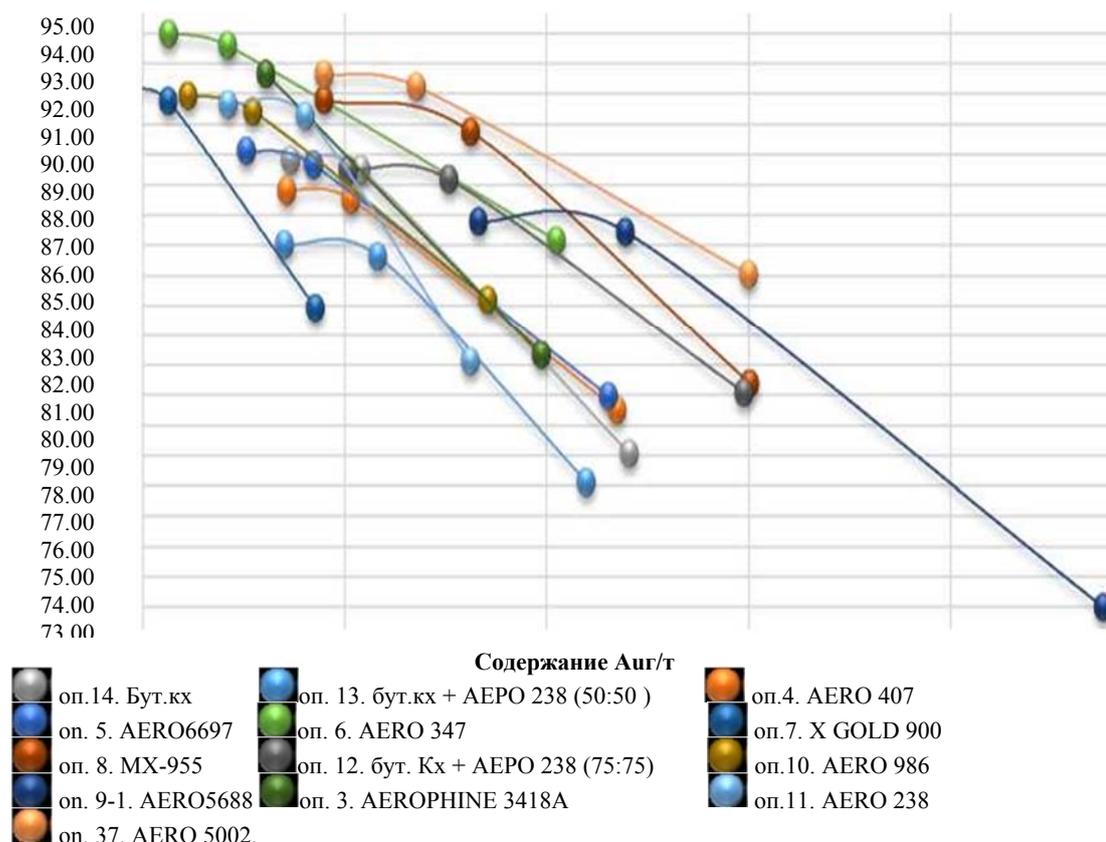
- оп.14.Бут.кх ДЕКО-8860, сосновое масло
- оп.18.Бут.кх ДЕКО-8860, Si\$O4
- оп.22.Бут.кх без AERO - 8860, сосновое масло

**Рис. 4.** Влияние модификаторов на флотируемость золота бутиловым ксантогенатом и сосновым маслом.

Коллекторы – возможно, самые важные реагенты, используемые при флотации самородного золота. Гидрофобность золота увеличивается добавлением коллекторов, используемых для флотации сульфидных руд, таких как ксантогенаты (кх), дитиофосфаты (ДТР), дитиофосфинаты (ДТРІ), меркаптобензотозон (МВС) а также смеси этих реагентов.

В последнее время компания СУТЕС разработала для такого типа руд специальные коллекторы для

флотации золота, это AEROMAXGOLD 900 и AEROMX-950. Ниже (табл. 3, рис. 5) приведены результаты испытаний различных собирателей флотации. Испытания собирателей показали, что наиболее эффективным коллектором для флотации золота из руды месторождения «Джамгыр» (рис. 5) является AERO-5002 (опыт 37). Извлечение в суммарный концентрат, содержащий 85,01 г/т золота, составило 92,62%.



**Рис. 5.** Влияние типа собирателя на извлечение золота и качество концентрата.

Изучение морфологии свободного золота в продуктах флотации показало, что для извлечения крупного свободного золота наиболее эффективен собиратель АЕРО-5688, который также применяют при флотации минералов частично подверженных окислению [6,7].

На гистограмме рисунка 6 видно, что в руде 56% золотин имеет пограничную для флотации крупность -70+150 мкм (зеленый столбец), максимальное извлечение которого (44%) достигнуто с применением собирателя АЕРО-5002. (табл. 3, рис. 6).

Таблица 3

**Распределение золотин по крупности в суммарных флотационных концентратах при обогащении исходной руды (оп. 9,6,14,16) и месторождения «Джамгыр» с использованием различных реагентов**

№ опыта	Распределение по крупности, мкм/%							Сумма	Реагент
	<10мкм	10-20	20-40	40-70	70-150	150-300	>300		
Оп.9/1	2.8	8.7	24.3	27.0	22.1	10.1	5.0	100.0	АЕРО 5688, сосновое масло
Оп.6/1	2.4	9.7	30.0	31.9	19.8	6.3	-	100.0	АЕРО 3477, сосновое масло
Оп.14/1	<b>2.1</b>	5.7	28.1	32.7	28.4	3.0	-	100.0	Сосновое масло, бутиловый ксантогенат
Оп.16/1	<b>3.6</b>	10.3	24.0	28.2	30.3	3.5	-	100.0	С7, бутиловый ксантогенат
Оп. 37	0.4	11.5	15.3	28.8	43.9			100.0	АЕРО-5002, сосновое масло

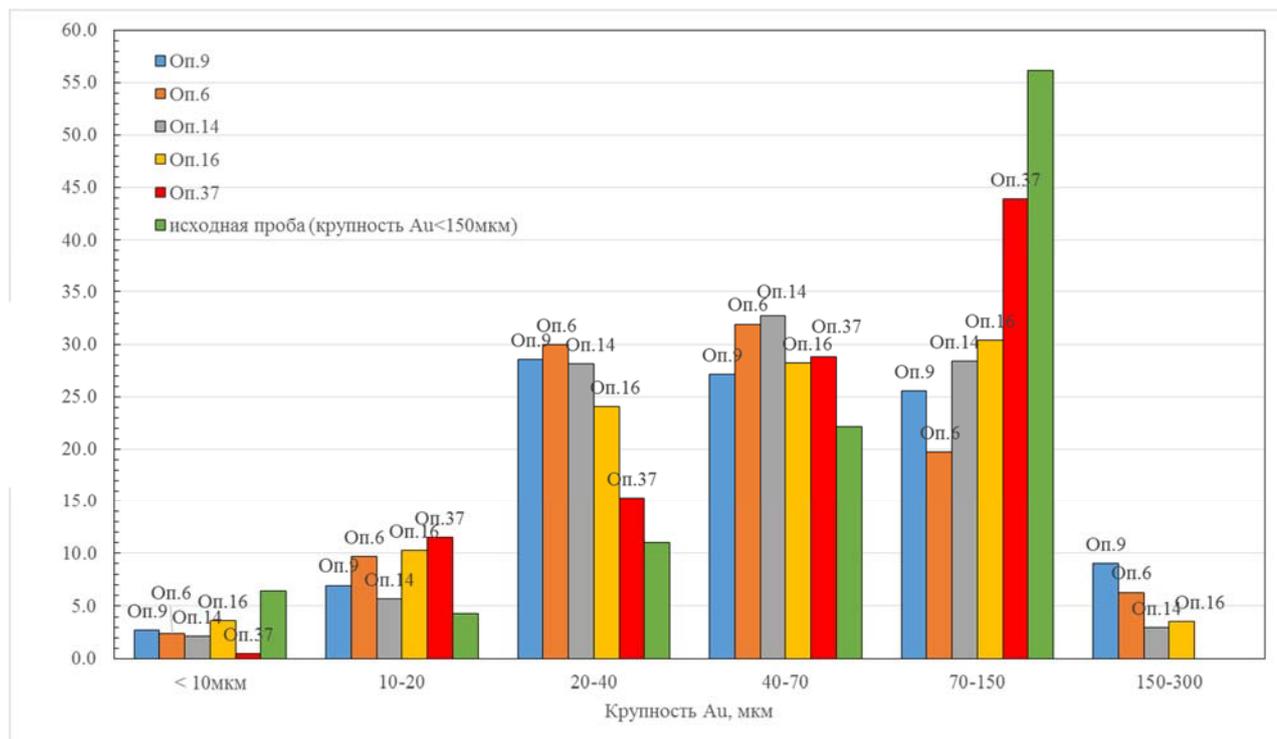


Рис. 6. Распределение золотин по крупности в суммарных флотационных концентратах при обогащении исходной руды месторождения «Джамгыр» с использованием различных реагентов.

Поскольку руда содержит свободное золото крупнее 100 мкм, большое значение было уделено выбору типа вспенивателя [8]:

- МИБК – селективный низкомолекулярный алифатический вспениватель.
- F549 является композиционным компании СУТЕС специально разработанным для флотации золотосодержащих руд.
- С-7 – полигликолевый вспениватель компании

Clariant.

- Сосновое масло – гетерополярный вспениватель.

Ниже приведены результаты испытаний вспенивателей, их расходы и точки подачи (рис. 7, табл. 4). В качестве собирателя в этой серии опытов использовался бутиловый ксантогенат натрия. Наиболее высокие показатели по критерию «качество-извлечение» получены с сосновым маслом в оп. 14.

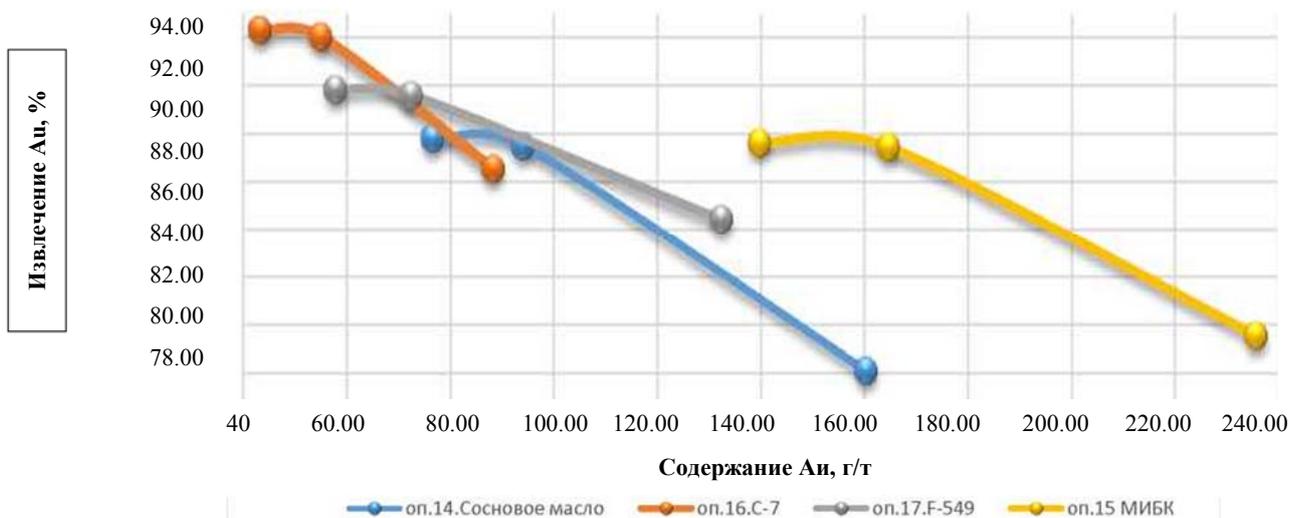


Рис. 7. Влияние типа вспенивателя.

Таблица 4

Результаты открытых флотационных опытов с различными вспенивателями

№ Опыта	Продукт	Выход	Содержание, г/т, %	Извлечение, %
		%	Au	Au
14 Сосновое масло	к-т I основная флотация.	4,42	160,5	80,05
	к-т II основная флотация.	4,00	20,9	9,43
	Сумма	8,42	94,18	89,48
	к-т контрольная флотация.	1,96	1,38	0,31
	Сумма	10,38	76,66	89,79
	Хвосты	89,62	1,01	10,21
	Руда	100,00	8,86	100,00
15 МИБК	к-т I основная флотация.	2,93	235,8	81,51
	к-т II основная флотация	1,67	40,2	7,92
	Сумма	4,60	1 64,79	89,43
	к-т контрольная флотация.	0,83	1,92	0,19
	Сумма	5,43	139,89	89,62
	Хвосты	94,57	0,93	10,38
	Руда	100,00	8,48	100,00
16 С 7	к-т I основная флотация.	8,58	88,4	88,52
	к-т II основная флотация.	6,06	7,78	5,5
	сумма	14,64	55,03	94,02
	к-т контрольная флотация.	3,99	0,59	0,27
	Сумма	18,63	43,37	94,29
	Хвосты	81,37	0,01	5,71
	Руда	100,00	8,57	100,00
17 F-549	к-т I основная флотация.	5,75	132,5	86,41
	к-т II основная флотация.	5,37	8,45	5,15
	Сумма	11,12	72,59	91,56
	к-т контрольная флотация.	2,86	0,75	0,24
	Сумма	13,98	57,90	91,80
	Хвосты	86,02	0,84	8,2
	Руда	100,00	8,82	100,00

**Заключение.** Руда месторождения «Джамгыр» относится к кварцевому малосульфидному типу золотосодержащих руд. Золото в руде самородное размером от долей микрометра до первых миллиметров. Крупное золото связано с кварцем, мелкое в виде прожилков в пирите. В связи с этим были испытаны флотационные реагенты, которые способствовали флотации крупного свободного золота и золотосодержащего пирита. Лучшие технологические показатели, которые оценивались как по качеству полученного концентрата, так и по извлечению золота были получены без применения регулятора среды, с коллектором АЕРО-5002.

Изучение морфологии свободного золота в продуктах флотации показало, что для извлечения крупного свободного золота наиболее эффективен собиратель АЕРО-5688, а тонкого свободного золота и связанного с пиритом АЕРО-5002. Наиболее эффективным вспенивателем является сосновое масло без регулятора среды.

**Литература:**

1. Мырзалиев Б.М., Ногаева К.А., Молмакова М.С., Целе-

- сообразность определение гравитационного обогащения руды месторождения «Джамгыр». -Россия-Иркутск: Вестник ИРГТУ, №10. - Т. 22. - 2018. - С. 153-165.
2. A Review of flotation of native gold. G.C. Allanand J.N. Woodcock. Minerals Engineering, Vol. 14, 9. - PP. 931-962.
3. R.B. Booth, "Frothing agents for the flotation of ores and coal," US Pat.2, 675, 101, 1954. - Ф 20.02.2007.
4. Flotation Frothers: Review of Their Classifications, Properties and Preparation. Mineral Processing Journal, 2011, 4, 25-44.
5. Матвеева Т.Н., Иванова Т.А. Исследование, разработка и апробация новых классов флотационных реагентов для извлечения цветных и благородных металлов из труднообогатимых руд. - Красноярск: Плаксинские чтения, 2017. – 12-17 сентября 2017г. - С. 21-24.
6. Чекушин В. С., Бакшеев С.П., Олейникова Н.В. Способ флотационного обогащения окисленных глинистых золотосодержащих руд, Патент 2293821РРФ 20.02.2007.
7. Петров С.В. Морфология самородного золота и её влияние на результаты переработки руд / Обогащение руд, 1996, №2. - С. 6-9.
8. Шубов Л.Я. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. - Книга 1,2. - М.: Недра, 1990.

**Рецензент: д.т.н., профессор Татыбеков А.Т.**