

УДК 622.7:622.342

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

В.Е. Кисляков

Предлагаемая методика позволяет определить максимально возможное содержание мелкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде драг и промывочных установок с учетом извлечения золота различной крупности при гравитационном обогащении песков.

Ключевые слова: технологическая вода, россыпное месторождение, потери

В настоящее время актуальной остаётся проблема прогнозирования и нормирования технологических потерь золота при разработке россыпных месторождений. Большое количество появившегося на отечественном рынке обогатительного оборудования, широкий диапазон условий его применения и другие факторы определяют весьма разноречивые данные по извлечению зёрен золота различной крупности.

Учитывая то, что извлечение золота является одним из основных факторов в процессе предпроектной оценки эффективности освоения россыпных месторождений и техногенных образований отработанных золотоносных россыпей, неточная информация о возможных извлекаемых запасах приводит к значительному риску вложения инвестиций. Кроме того, прогнозная оценка извлечения золота весьма необходима при оптимизации качества технологической воды в системе оборотного водоснабжения обогатительных установок. Важность последнего определена резким изменением реологических свойств воды и ростом вовлечения в эксплуатацию месторождений со значительным содержанием мелких и тонких зёрен золота.

Целью представленной работы является определение корреляционной зависимости извлечения от крупности зёрен золота на различных типах гравитационного оборудования.

Для анализа и статистической обработки использованы результаты исследований по извлечению золота на различных типах гравитационного оборудования, опубликованные в работах [1-5].

На первом этапе исследований введены следующие ограничения:

- отдельно не рассматривались конкретные модификации обогатительного оборудования. Параметры наиболее (наименее) эффективных модификаций с определённой вероятностью характеризует зона максимально (минимально) возможных значений извлечения;
- в данных не принималось во внимание качество технологической воды;
- параметры каждого типа оборудования установлены для обеспечения максимального извлечения золота для конкретных характеристик исходного материала;
- пески полностью промыты при подготовительных процессах.

В общем виде уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$s = a \cdot (1gd)^2 + b \cdot 1gd + c, \quad (1)$$

где s - извлечение золота, %; d - крупность зёрен золота, мм; a , b , c - эмпирические коэффициенты, значения которых зависят от многих факторов, основные из которых - модификация конкретного типа гравитационного оборудования (шлюзы: глубокого и мелкого наполнения; различной конфигурации и длины; с периодическим и непрерывным съёмом концентрата; различной улавливающей поверхностью и др.; отсадочные машины: МОД, МО, Труд, INC, Hanson и др.; концентрационные столы: СКО, СК, СКМ, СС и др.; центробежные аппараты: Knelson, Falcon, Orokon, Итомак, ИЗМ и др.); крупность исходного материала и форма зёрен золота; содержание в песках минералов с большой плотностью и др.

Значения эмпирических коэффициентов от типа обогатительного оборудования, ограничения для расчёта по предлагаемой модели, границы возможных значений максимального и минимального от среднестатистических данных извлечения в зависимости от крупности зёрен золота приведены в [6].

Пример расчёта величины извлечения золота из песков россыпного месторождения.

Гранулометрический состав зёрен золота в песках приведён в табл. 1. Пески - хорошо промывистые. Обогащение производится на шлюзах глубокого и мелкого наполнения.

Таблица 1

Гранулометрический состав зёрен золота в песках

Классы крупности, мм	Среднее значение интервала, мм	Выход, %
- 4 + 2	3,0	2,5
- 2 + 1	1,5	35,0
- 1 + 0,5	0,75	27,0
- 0,5 + 0,25	0,375	20,0
- 0,25 + 0,1	0,175	8,0
- 0,1 + 0,074	0,087	5,5
- 0,074	0,037	2,0

Результаты расчётов сведены в табл. 2 и представлены графиками на рис. 1, 2.

Расчёт средних значений величины извлечения по каждому классу крупности определяется по формуле

$$f_{cp} = -4,2963 \cdot (\lg d)^2 + 52,262 \cdot \lg(d) + 91,141, \%$$

Минимально и максимально возможные значения извлечения:

$$s_{min} = -8,4541 \cdot (\lg d)^2 + 33,122 \cdot \lg(d) + 96,873, \%$$

$$f_{max} = -24,185 \cdot (\lg d)^2 + 68,419 \cdot \lg(d) + 85,478, \%$$

Таблица 2

Расчетное извлечение по классам крупности зерен

№ п/п	Классы крупности, мм	Среднее значение интервала, мм	Извлечение, %:					
			расчетное			с учетом выхода фракций		
			Макс.	Сред.	Мин.	Макс.	Сред.	Мин.
1	- 4 + 2	3,0	100	100	100	2,50	2,50	2,50
2	- 2 + 1	1,5	100	100	96,78	35,00	35,00	33,87
3	- 1 + 0,5	0,75	92,60	84,54	76,55	25,00	22,83	20,67
4	- 0,5 + 0,25	0,375	81,23	68,10	51,95	16,25	13,62	10,39
5	- 0,25 + 0,1	0,175	66,96	49,12	19,83	5,36	3,93	1,59
6	- 0,1 + 0,074	0,087	52,24	30,88	0	2,87	1,70	0
7	- 0,074	0,037	32,12	7,50	0	0,64	0,15	0
Всего						87,62	79,72	69,02

Таким образом, расчётное извлечение по приведённому примеру может составить от 69,02 до 87,62 % (вероятность 95 %). Средневзвешенное значение составляет 79,22 %.

Основной принцип нормирования качества технологической воды при обогащении золотоносных песков россыпных месторождений (что особенно важно при организации оборотного водоснабжения промывочных установок и драг) заключается в определении минимального значения неполученного недропользователем дохода, связанного с технологически-

ми потерями полезного компонента по причинам изменения качества технологической воды из-за накопления значительного количества в ней мелкодисперсных грунтовых частиц (II_n) и суммарных затрат, связанных с ее очисткой (3)

$$B = Bn + 3o - \text{min} . \quad (2)$$

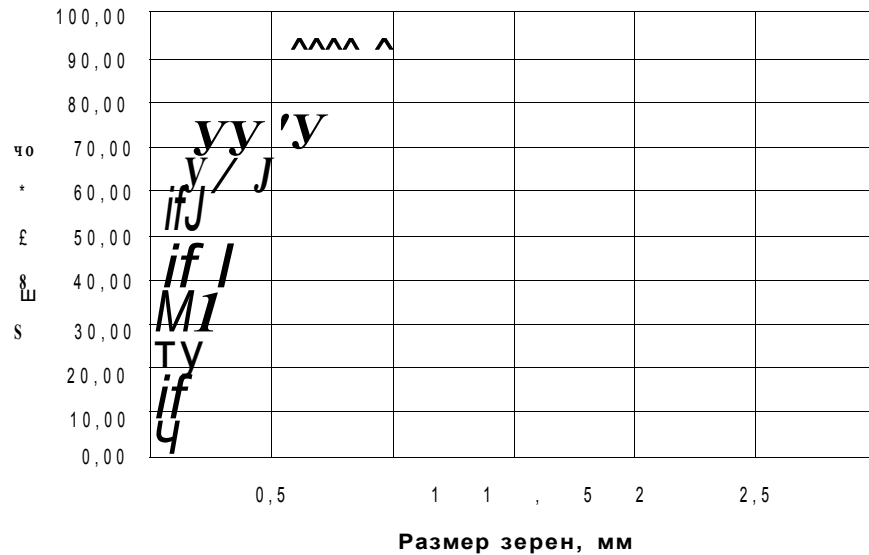


Рис. 1. Пример расчёта величины извлечения золота из песков россыпного месторождения

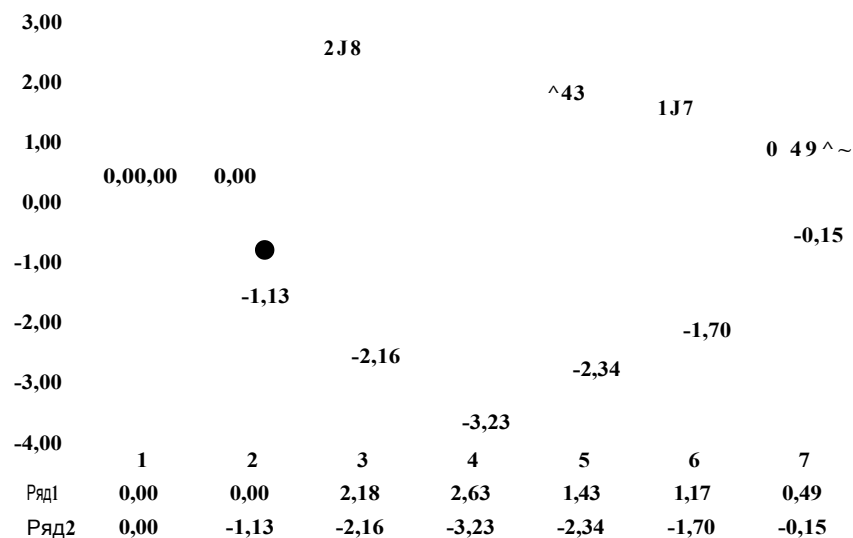


Рис. 2. Значения отклонений от средней величины извлечения (1 - 7 - номера позиций из табл. 2)

Неполученный недропользователем доход

$$D = (n_{\text{т}} + III) \cdot C_{\text{т}} \cdot C_{\text{м}} \text{ руб.},$$

где $P_{\text{т}}$ - технологические потери металла, определяемые в зависимости от типа обогатительного оборудования, гранулометрического состава зерен металла в промываемых песках, %; III - прирост технологических потерь металла из-за увеличения содержания мелкодисперсных грунтовых частиц в оборотной воде, %; Q - годовой объем промываемых песков, м³; $C_{\text{т}}$ - содержание металла в песках, г/м³; $C_{\text{м}}$ - цена реализации 1 г металла, руб.

Величина извлечения металла (E) может приниматься по методике [1]. Причем, с целью снижения риска, следует принимать минимальное значение E , а для анализа возможных отклонений неполученного дохода - дополнительно определяют среднее и максимальное значения.

Величина AP определяется по каждому классу крупности зерен металла в зависимости от изменения реологических свойств технологической воды. Используя методику расчета гидравлической крупности, например, О.М. Тодеса и Р.Б. Розенбаума, определим гидравлическую крупность зерен золота различной геометрической крупности при изменяющихся условиях качества технологической воды.

По результатам аппроксимации расчетных данных гидравлической крупности зерен золота получена математическая модель коэффициента изменения величины их гидравлической крупности [7]:

$$k = a \cdot e^{bc} ; \quad (4)$$

$$a = 0,88 \cdot C_{\text{т}}^2 \cdot d + 1,0042 - (2,6326 \cdot d - 0,44212) \cdot p \cdot d \cdot C_{\text{т}}^3 ; \quad (5)$$

$$b = (0,5713 \cdot d + 0,032) \cdot p \cdot C_{\text{т}}^4 + (0,21 \cdot d - 0,26) \cdot C_{\text{т}}^2 , \quad (6)$$

где k - коэффициент изменения гидравлической крупности (отношение гидравлической крупности зерен золота при изменяющихся реологических условиях осаждения к гидравлической крупности зерен в воде (+20 °С) без механических примесей); a , b - эмпирические коэффициенты; $C_{\text{т}}$ - содержание мелкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде, г/дм³; d - геометрическая крупность исследуемых зерен золота, мм; p - плотность зерен золота, г/см³.

Ограничения при работе с полученной моделью составили: $d < 0,8$ мм (при $d > 0,8$ мм содержание мелкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде оказывает весьма незначительное влияние и величина k принимается равной 1) и при $k > 1$ принимать $k = 1$.

После определения коэффициента снижения гидравлической крупности по каждому классу, определяют прирост технологических потерь металла из-за увеличения содержания мелкодисперсных грунтовых частиц в оборотной воде и извлечение при каждом исследуемом уровне загрязнения технологической воды, например, 50, 100, 150, 200, 250 и 300 г/дм³.

Пример нормирования качества технологической воды при разработке россыпных месторождений.

Россыпное месторождение золота представлено хорошо промывистыми песками. Гранулометрический состав зёрен приведён в табл. 1. Годовая производительность по пескам - 300000 м³. Среднее содержание металла в песках - 1 г/м³. Плотность зерен золота 18 г/см³. Обогащение производится на шлюзах глубокого и мелкого обогащения. Цена реализации 1 г металла принята 2000 руб.

Расчетные значения эмпирических коэффициентов сведены в табл. 3, коэффициента изменения величины гидравлической крупности зерен золота - показаны графиками на рис. 3.

Таблица 3

Расчетные значения эмпирических коэффициентов

Крупность зерен, мм	а	в
3,0	0,62799652	0,006843178
1,5	0,92271856	0,002150781
0,75	0,990114355	-0,000195417
0,375	1,003820946	-0,001368516
0,175	1,005681646	-0,001994169
0,087	1,005299383	-0,002269456
0,037	1,004755219	-0,002425869

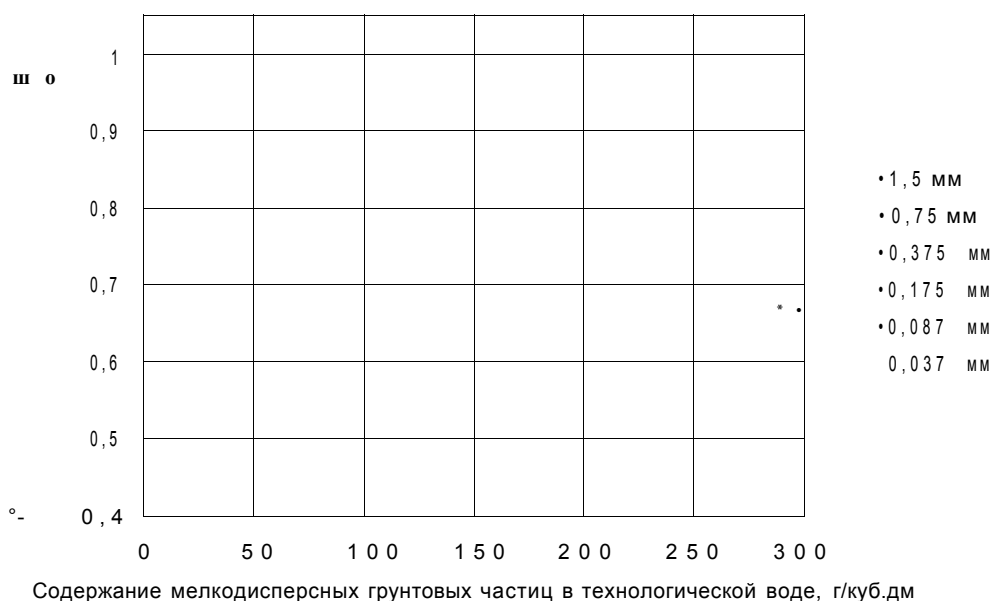


Рис. 3. Расчетная величина коэффициента изменения гидравлической крупности зерен золота при их геометрической крупности 1,5 - 0,037 мм

Результаты расчета потерь металла при обогащении в зависимости от содержания мелкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде приведены на рис. 4 (максимальные, средние, минимальные).

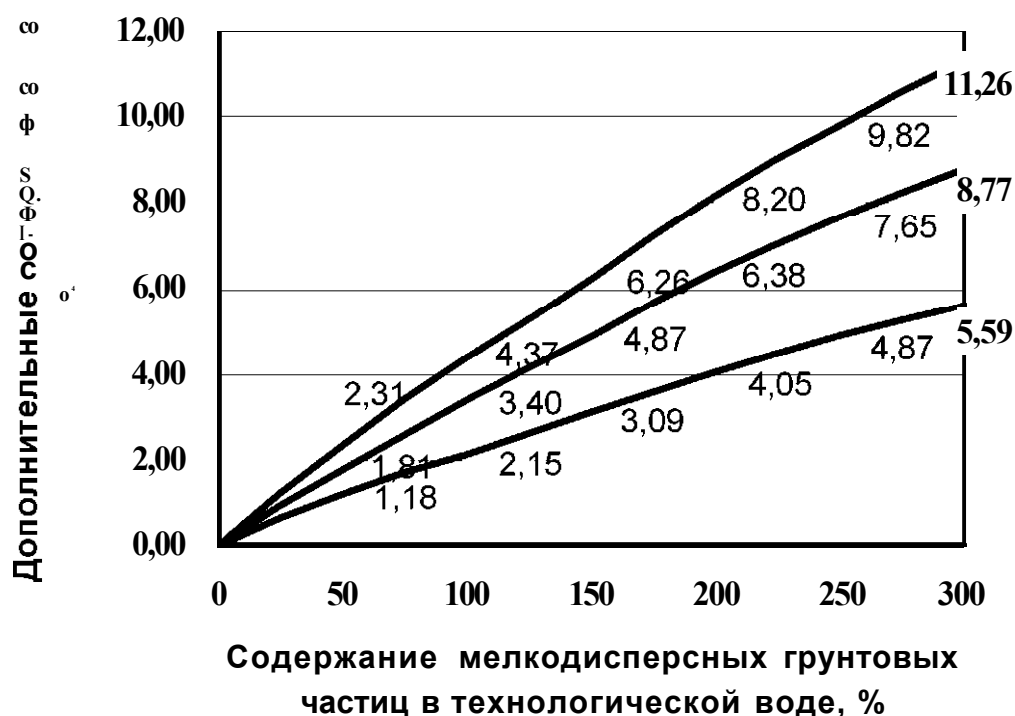


Рис. 4. Потери металла из-за изменения качества технологической воды

Таблица 4

Расчетные данные неполученного недропользователем дохода

C, г/дм³	Неполученный доход (тыс. руб) из-за изменения качества технологической воды при условии:			Затраты на очистку воды, тыс. руб.
	максимально возможного извлечения	средней величины извлечения	минимально возможного извлечения	
0	0	0	0	25700
50	7080	10860	13860	10000
100	12900	20400	26220	4000
150	18540	29220	37560	2500
200	24300	38280	49200	1500
250	29220	45900	58920	1000
300	33540	52620	67560	100

Расчетные данные неполученного недропользователем дохода за счет технологических потерь металла, а также результаты по затратам на повышение качества технологической воды (очистка с использованием реагентов, дополнительные объемы гидротехнических сооружений,

организация поверхностного водозабора, устройство фильтров, увеличение рабочей зоны отстойника и др.) приведены в табл. 4. Суммарный доход представлен графиками на рис. 5.

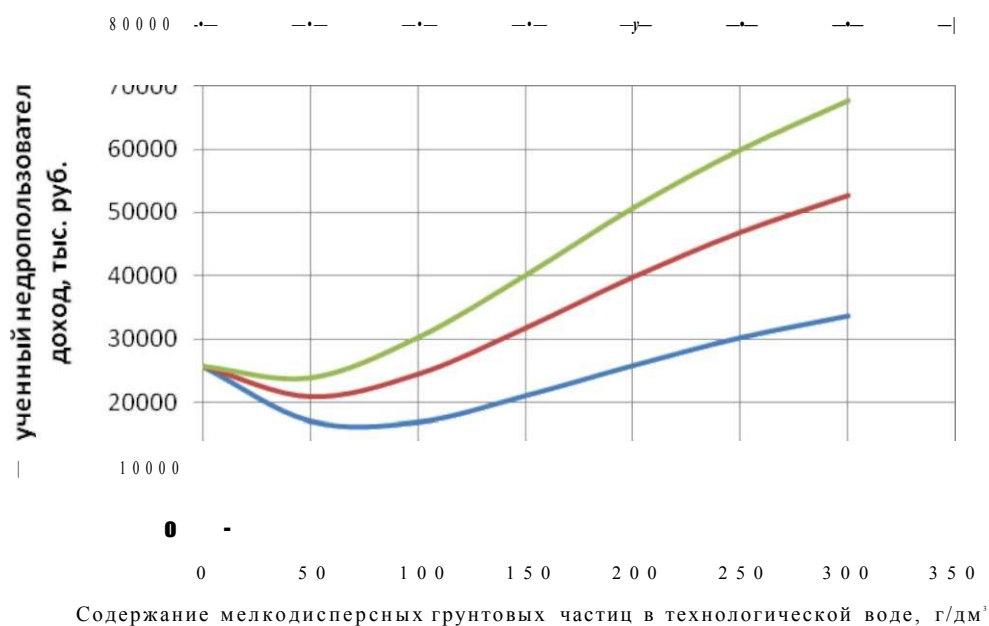


Рис. 5. Неполученный недропользователем доход с представлением зоны достоверности данных (максимальный, средний и минимальный)

Таким образом, предельно допустимое содержание мелкодисперсных грунтовых частиц в технологической воде должно составлять от 60 до 90 г/дм³.

Список литературы

1. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1980. 400 с.
2. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О.В. Замятин [и др.]. М.: Недра, 1975. 264 с.
3. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых. М.: Недра, 1965. 332 с.
4. Новые машины и аппараты завода «Труд» для обогащения золотосодержащих песков и руд / под ред. Ю.Ю. Ислямова, Л.А. Митина, Г.Ф. Мочкина, В.С. Стецурина. Новосибирск: Сибпринт, 2004. 252 с.
5. Золотодобыча. Информационно-рекламный бюллетень. Иркутск: Иргиредмет, 2000-2016 гг.
6. Кисляков В.Е. Прогнозная оценка извлечения золота при обогащении песков россыпных месторождений // Цветные металлы. 2008. № 3. С. 13-16.

7. Кисляков В.Е. Нормирование качества технологической воды при обогащении песков россыпных месторождений // Цветные металлы. 2009. № 12. С. 20-22.

Кисляков Виктор Евгеньевич, д-р техн. наук, проф., VKislyakov@sfu-kras.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет

LIMITS THE CONTAMINATION OF PROCESS WATER IN THE DEVELOPMENT OF PLACER DEPOSITS GOLD

V. E. Kislyakov

The proposed method allows to determine the maximum content of fine soil particles in the process water dredges and wash plants with regard to the extraction of gold of various sizes with gravitation by enrichment of the Sands.

Key words: produced water, placer, loss.

Kislyakov Victor Evgenievich, doctor of engineering. PhD, Professor, VKislyakov@sfu-kras.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University

Reference

1. Shohin V.N., Lopatin A.G. Gravitacionnye metody obogashhenija. M.: Nedra, 1980. 400 s.
2. Obogashhenie zolotosoderzhashhih peskov i konglomeratov / O.V. Zamjatin [i dr.]// M.: Nedra, 1975. 264 s.
3. Fomenko T.G. Gravitacionnye processy obogashhenija poleznyh iskopaemyh. M.: Nedra, 1965. 332 s.
4. Novye mashiny i apparaty zavoda «Trud» dlja obogashhenija zolotosoderzhashhih peskov i rud / Pod red. Ju.Ju. Isljamova, L.A. Mitina, G.F. Mochkina, V.S. Stecurina. Novo-sibirsk: Sibprint, 2004. 252 s.
5. Zolotodobycha. Informacionno-reklamnyj bjulleten'. Irkutsk: Irgiredmet, 2000–2016 g.g.
6. Kisljakov V.E. Prognoznaja ocenka izvlechenija zolota pri obogashhenii peskov rossypnyh mestorozhdenij // Cvetnye metally. 2008. № 3. S. 13-16.
7. Kisljakov V.E. Normirovanie kachestva tehnologicheskoy vody pri obogashhenii peskov rossypnyh mestorozhdenij // Cvetnye metally. 2009. № 12. S. 20-22.