

**СЕМИНАР 23
ДОКЛАД НА СИМПОЗИУМЕ "НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА -
2001"
МОСКВА, МГГУ, 29 января – 2 февраля 2001 г.**

© В.Ф. Бойко, 2001

УДК 533.044:533.41(576.6)

В.Ф. Бойко

**ОЦЕНКА "ЗОЛОТОНОСНОСТИ"
ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ
ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ**

В

настоящее время при освоении месторождений золота в Дальневосточном регионе в эксплуатацию вовлекаются россыпи с большим содержанием глин и значительно меньшим, по сравнению со средним, содержанием золота. Богатые месторождения, как правило, расположены в труднодоступных районах и требуют значительных средств на подготовку их к освоению. В этой ситуации существенно возрастает роль техногенных аллювиальных россыпей как одного из резервов россыпной золотодобычи.

Только на территории Амурской области в эксплуатации находится 109 россыпей, которые ежегодно пополняют ресурсы техногенных месторождений. Общий объем горной массы техногенных отвалов составляет свыше 1 млрд м³, прогнозные ресурсы золота, по предварительной оценке, около 270 т [1].

Сокращение финансирования геологоразведочных и проектно-изыскательских работ вызывает необходимость широкого использования нетрадиционных методов оценки запасов и гранулометрии золота техногенных россыпей.

Благодаря геологической практике и опыту эксплуатации систем обогащения появилась возможность научного прогнозирования содержания золота в хвостах промприборов и, соответственно, в отвалах горной массы, такой гранулометрической характеристики, как функция плотности распределения объемов дисперсного золота в зависимости от крупности частиц.

Научный прогноз содержания и распределения по крупности золота в техногенных месторождениях может быть достигнут с помощью законов распределения ценных компонентов в металлосодержащих песках исходных россыпных месторождений и алгебраических выражений, устанавливающих связь между извлечением и параметрами схем обогащения.

Далее, типичной гистограммой вмещающих пород россыпей продуктивных песков можно считать гистограмму С.А. Батугина [2].

Однако, гистограммы не всегда дают исчерпывающее представление о распределении объемов частиц по размерам, неудобны в обращении. Они дискретны, в то время как для создания математических моделей процессов, связанных с добычей и переработкой металлосодержащих песков, более удобными оказываются функции плотностей распределения или законы распределения [3]. В качестве универсального закона распределения принят закон Авдеева-Батугина

$$\psi = az^b / \exp(cz^d), \quad (1)$$

где $z \in (0, 11]$; a, b, c, d – постоянные, определяемые по результатам ситового или седиментометрического дисперсного анализа.

Безразмерная величина частицы, отвечающая верхней границе класса вычисляется по формуле

$$z_i = \frac{r_i}{r_{\max}} - 11, \quad (2)$$

где $r_{\max}, 11$ – размер наибольшей по величине частицы; i – номер класса частиц.

Разумеется, если $r_i \cdot 11$ -кратно r_{\max} , то границы классов представлены целыми числами. Если границы классов частиц отличаются более чем на единицу, то число классов может быть меньше 11; i – номер класса. Соответственно, безразмерный шаг класса частиц, в общем случае, можно найти по формуле

$$\Delta_0 = z_{i=1} - z_i \quad (3)$$

Для перевода экспериментальных данных ситового или седиментометрического анализа (гистограмм) в

Рис. 1

дискретные функции плотности распределения используется выражение

$$Y_i = \frac{\Delta F_i}{\Delta z}, \quad (4)$$

где ΔF_i – вероятность распределения объема частиц данного класса – частная (i) ордината гистограммы

Располагая банком экспериментальных функций плотности распределения объема частиц по крупности, а так же располагая универсальным выражением закона распределения (1), можно найти закон для любого дисперсного материала. Так как выражение (1) имеет четыре неизменных постоянных величины a, b, c, d , составлена система из четырех уравнений:

$$\begin{cases} Y_{11} = a11^b / \exp(c11^d) \\ Y_m = aZ_m^b / \exp(cZ_m^d) \\ \int_0^{11} \psi dz = 1 \\ \left(\frac{d\psi}{dZ} \right)_m = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где Y_m – максимальная ордината закона распределения; Y_{11} – минимальная ордината закона распределения; Z_m – мода [4].

Система (5) дает приближенные значения постоянных a, b, c, d , так как банк данных чаще всего не обеспечивает репрезентативность значений величин Z_m, Y_m, Y_{11} . Уточнение значений a, b, c, d достигается варьированием указанных вокруг их приближенных значений. При этом, из множества решений линейного уравнения регрессии $Y_R = A_0 + A_1 \psi$ выбираются только те, которые приводят к простому виду закона распределения

$$Y_R \equiv \psi \quad (6)$$

Естественно, это может быть, если выполняются условия – $A_0 \approx 0, A_1 \approx 1$.

Накопление банка данных вещественных характеристик аллювиальных отложений россыпей Сибири и Дальнего Востока создает предпосылки систематизации законов распределения материалов, составляющих аллювий, и приводит к углублению представлений о формировании россыпей как объектов намыва естественными водотоками продуктов коры выветривания на твердое основание – плотик.

Продукты классификации – переработки аллювия как свободнодисперсные системы отличаются своеобразием гранулометрического состава. Продуктивные слои россыпей формируются в течение длительного исторического периода, который характеризуется изменением гидрологических режимов водотоков – меняется расход, образуются меандры, размывается ложе. На месте древнего русла появляются старицы, последние превращаются в зоны ливневых и атмосфер-

ных отложений. Коротко говоря, происходит наложение мелких классов частиц на более крупные, из которых было сформировано дно действующего водотока.

Таким образом, неклассифицированный аллювий представляет смешение различных по крупности – несовместимых, в гидравлическом аспекте, классов частиц. Здесь заметим, что это обстоятельство является определяющим при выборе способа разделения аллювия на составляющие.

Согласно морфотектонической схеме, предложенной А.П. Сорокиным, Верхнее Приамурье разделяется на две области – орогенную и платформенную [5].

Орогенная область располагается на севере территории, занимая Становой и Тукурингра-Джагдинский хребты, а на востоке – Буреинский хребет. Область включает становое глыбовое поднятие, Тукурингра-Джагдинское сводово-глыбовое поднятие, Тында-Зейскую межгорную депрессию.

Платформенная область включает Южно-Тукурингринскую предгорную депрессию, Притуранский пояс, Гонжинский, Амуро-Мамынский выступы.

Экспериментом охвачено 247 промышленных объектов ПО «Амурзолото» и, в том числе, 56 месторождений

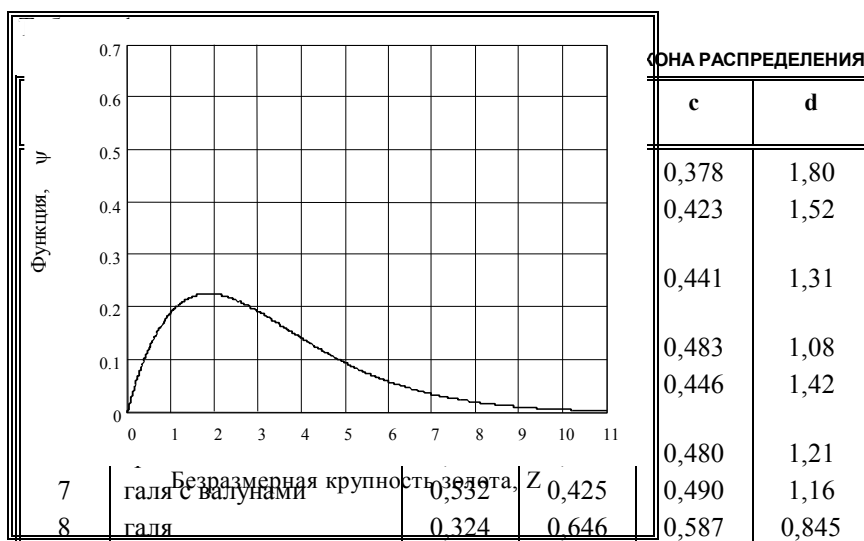
Из указанного массива, для отдельных видов геоматериалов, на основе анализа гистограмм, сформировано семь малых массивов, при этом глина объединена с песком, а валуны и гравий опущены.

Паспортизация функций плотностей распределения вмещающих золото пород россыпных месторождений Верхнего Приамурья, проведенная по методике предложенной выше, показала значимость коэффициентов линейного уравнения регрессии и адекватность расчетных и экспериментальных данных с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты регрессионной обработки массивов данных сведены в табл. 1. Геоматериалам присвоены номера.

В результате исследований банка данных ситовых характеристик золота установлено, что золото аллювиальных россыпей орогенной зоны значительно отличается по крупности от платформенного золота и мало отличается от золота зоны депрессии. Кроме того, для орогенной зоны среднее значение уклона плотика россыпей превышает величину – 0,005, а для платформенной зоны, если исключить зону депрессии, оно отвечает величине $\leq 0,005$.

Количество ситовых характеристик банка данных А.П. Сорокина и В.Д. Глотова распределилось по указанным выше географическим



зонам, следующим образом -319 и 218, соответственно.

Переход к понятию безразмерной крупности частиц золота позволил обобщить результаты регрессионной обработки двух экспериментальных массивов данных в один и получить усредненное (по двум зонам) формализованное выражение функции плотности распределения золота Верхнего Приамурья

$$\psi = 0,267Z^{0,900} / \exp(0,333Z^{1,25}) \quad (7)$$

где ψ – нормированная функция плотности распределения объемов дисперсного золота.

Графическое выражение (7) показано на рис. 2.

Знание вещественных характеристик исходных продуктивных песков является необходимым, но недостаточным условием для оценки содержания и гранулометрии золота техногенных месторождений.

Другим – замыкающим расчетную схему условием могут быть количественные данные по извлечению золота различными промывочными приборами.

К сожалению, в настоящее время, обогащательная наука не располагает обширной информацией по вышеуказанному вопросу.

Таблица 2

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА НА ОБОГАЩАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Обогащательные аппараты, питание в мм.	Доля извлекаемого золота, % в классе крупности							
	+5	-5+3	-3+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,15	-0,15+0,1	-0,1
Шлюз, 100	100	96	92	84	73	44	0	0
Шлюз, 50	100	98,1	97	93,4	62	44	44	14
Шлюз, 30	100	97	95	92	84	59	50	0
Шлюз, 20	100	99	97,6	96,3	70	50	50	32
Шлюз, 16	100	99	97	93	83	62	37	8
Шлюз, 4	-	100	99	95	90	84	78	40
Концентрационный стол, 3	-	-	100	100	92	89	85	65

Однако, имеет место дент, позволяющий вать основные положения раскрываемой здесь методики. Этим прецедентом являются данные ИРГИредмета [6–8] (табл. 2).

Таблица представляет статистический материал, который ражает характер работ тов извлечения – их влияние на формирование вещественных рактеристик, прошедшего работку золотосодержащего песка.

Из таблицы видно, что чение золота по классам го материала в основном ляется крупностью питания и

практически не зависит от конструктивных ностей обогащательных аппаратов. Последнее объясняется единой природой процесса и различием режима работы.

Строго говоря, для оценки содержания и гранулометрических характеристик песков,

составляющих техногенные месторождения необходимо располагать достаточно большими выборками, поэтому для увеличения репрезентативности экспериментальных данных приведенных в табл. 2, по степени извлечения золота, объединены первая строка таблицы со второй, а третья и четвертая с пятой.

Результаты обработки экспериментальных данных описаны системой

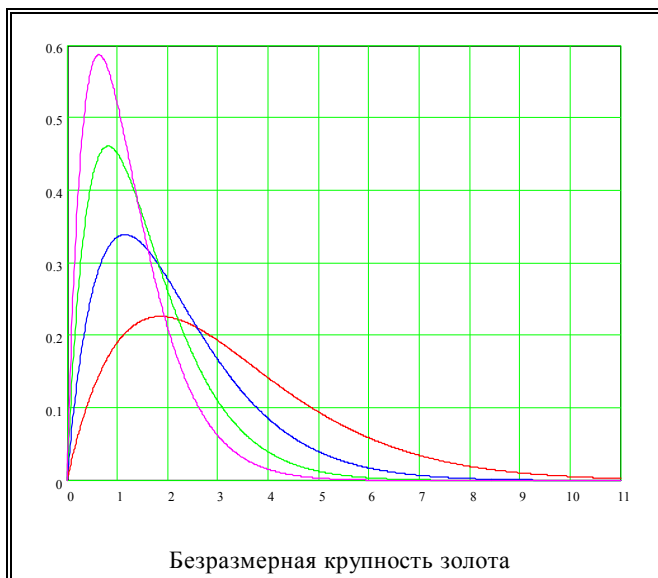
$$\begin{cases} E = 1 - e^{-Kd} \\ K = 1,7 + 15,4e^{-0.15D} \\ d = d_{\max} \frac{z}{11}, \end{cases} \quad (8)$$

где d – диаметр золотин; D – крупность питания, а гранулометрия золота природных россыпей – выражением (1).

Таким образом, нормированная функция плотностей распределения золота техногенных месторождений представлена функционалом

$$\varphi = \frac{(1-E)\psi}{\int_0^{11} (1-E)\psi dz}, \quad (9)$$

где знаменатель дроби – суммарные относительные



потери золота при обработке исходной россыпи

Рис. 2. Функция плотностей распределения объемов золота природных россыпей Верхнего Приамурья

Рис. 3. Функции плотности распределения объемов золота месторождения руч. Самоваринский: 1 – природная россыпь; 2 – $j=1$; 3 – $j=2$; 4 – $j=3$; j – кратность отработки

Рис. 4. Функции плотностей распределения объемов золота месторождения руч. Самоваринский: 1 – природная россыпь; 2 – $j=1$ ($D=100$ мм); 3 – $j=2$ ($D=16$ мм); 4 – $j=3$ ($D=4$ мм); j – порядковый номер промывочного прибора; D – крупность питания промывочного прибора

или, что одно и то же, содержание золота в техногенных отвалах отдельного промывочного прибора

$$S = \int_0^{11} (1-E)\psi dz \quad (10)$$

Интерпретация средствами гранулометрии повторной отработки россыпных месторождений для, так называемых, консервативной и прогрессивной технологий приводит к двум системам уравнений – (11) и (12):

$$\begin{cases} S_n = \int_0^{11} (\psi e^{-nKd_{\max} z/11} / \prod_{j=1}^{n-1} S_j) dz, \quad S_0 = 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad n \geq 1 \\ \varphi_n = \psi e^{-nKd_{\max} z/11} / \prod_{j=1}^n S_j \\ S = \prod_{j=1}^n S_j \end{cases}, \quad (11)$$

где S – относительное содержание золота в золото-содержащих песках после их многократной промывки, без сокращения объема, т. е. на одном приборе,

$$\begin{cases} S_n = \int_0^{11} \left[\frac{\Psi e^{-(K_1 + K_2 + \dots + K_n) d_{\max} \frac{z}{11}}}{\prod_{j=1}^{n-1} S_j} \right] dz, \quad S_0 = 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad n \geq 1 \\ \varphi_n = \frac{\Psi e^{-(K_1 + K_2 + \dots + K_n) d_{\max} \frac{z}{11}}}{\prod_{j=1}^n S_j} \\ S = \prod_{j=1}^n S_j \end{cases} \quad (12)$$

где S – относительное содержание золота в хвостах n – го по счету промывочного прибора, с сокращением объема.

Расчет выполнен для месторождения руч. Самоваринский:

Вариант 1 – $d_{\max} = 2,31$ мм, $D = 100$ мм, с одним шлюзом.

Вариант 2 – $d_{\max} = 2,31$ мм, с последовательно расположенными шлюзами, $D = 100, 16, 4$ мм

Технологические процессы проиллюстрированы на рис. 3, 4.

Сравнивая последние результаты расчетов с консервативной трехкратной обработкой, приходим

к выводу, что суммарные потери значительно отличаются, а именно, они в первом варианте – 0,127, втором – 0,024.

Таким образом, математическое обеспечение оценки "золотоносности" техногенных россыпей дает возможность сделать выбор условий извлечения в зависимости от исходной гранулометрии золота, т. е. адаптации той или иной схемы обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мамаев Ю.А.* Научно-методические и технологические основы рационального освоения техногенных россыпей золота: Дис. ... док. техн. наук М.: МГГА, 1996. 225 с

2. *Батугин С.А., Бирюков А.В., Кылытчанов Р.М.* Гранулометрия геоматериалов. Новосибирск: Наука, СО, 1989. 76 с.

3. *Авдеев Н.Я.* Об аналитическом методе расчета седиментометрического дисперсного анализа. Ростов

н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 1964. 203 с.

4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

5. *Сорокин А.П.* Морфоструктуры и россыпи золота Приамурья: Дис. ... док. г-м. наук. Благовещенск: АмурКНИИ, 1989. 393 с.

6. *Замятин О.В., Лопатин А.Г., Санникова Н.П., Чугунов А.Д.* Обогащение золотосодержащих песков и

конгломератов. М.: Недра, 1975. 264 с.

7. *Замятин О.В., Тарасова Т.Б.* Пути повышения эффективности обогащения золотосодержащих песков на промывочных приборах. Иркутск: цвет мет., №6. 1991, 5 - 8 с.

8. *Федотов К.В., Леонов С.Б., Сенченко А.Е.* Практика извлечения труднообогатимого золота из россыпных месторождений. М.: Горный журнал, №6. 1998, 10 - 13 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бойко Валентин Федорович – доктор технических наук, г. Хабаровск.