

**И.Я. Илалтдинов**

Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Пермь

## ЗНАЧЕНИЕ ШКАЛЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КРУПНОСТИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА

Частицы россыпного золота являются составной частью терригенных осадков. При изучении крупности россыпного золота целесообразно использовать логарифмическую шкалу для объяснения процессов накопления золота и решения прикладных вопросов.

*Ключевые слова:* золото, крупность, логарифмическая шкала.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.88**

В науках о Земле, как и в любой отрасли знания, широко используют количественные характеристики тех или иных объектов и (или) процессов. Основой измерений количественных шкал служат некоторые изменения в проявлении свойств по определенному вектору. Для шкал разностей и отношений по соглашению принимаются точки отсчета (нули) и единицы измерения. Общепринятой и стандартизированной шкалы для измерения частиц, слагающих осадочные горные породы, в России нет, в отличие от зарубежных работ. В последних используется исключительно Ф-шкала, в которой размерность частиц определяется как  $\Phi = -\log_2 S$ , где  $S$  – размер зерен в мм. Близка к шкале  $\Phi$   $\gamma$ -шкала В.П. Батурина, где размерность частиц измеряется как  $\gamma = -\log_{10} S$ .

При анализе гранулометрического состава терригенных осадков преобладает десятичная система счисления арабской нумерации по целочисленному основанию 10. Однако изменения природных явлений вряд ли нуждаются в использовании столь упрощенной системы. Значительно более естественной представляется природность логарифмических шкал [2].

Частицы россыпного золота являются составной частью обломочного или тонкого гипергенного материала, в котором образуются определенные концентрации в пределах какого-то горизонта [19]. Тем самым при анализе их крупности, как и для терригенных осадков, возможно применение различных шкал.

Крупность россыпного золота в практике изучения россыпей обычно отождествляется с ситовыми (гранулярными, гранулометрическими)

размерами и остается главной характеристикой россыпеобразующего золота [10].

Ситовые гранулометрические анализы производят с помощью набора сит, размер которых соответствует классам гранулометрической шкалы или приближен к ней. Обычно применяется следующий набор сит (в мм): 0,10; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 16,0 [9].

Размеры золотосодержащих минеральных выделений в россыпях в золотоносных провинциях мира имеют широкую амплитуду колебаний, но наиболее распространены месторождения, в которых преобладают фракции самородного золота крупностью от 0,2 до 20 мм. Характер сочетания различных фракций минералов самородного золота в россыпях, помимо общей гранулометрической характеристики минералов, отражает специфические особенности образования месторождений, включая формационную принадлежность коренных источников, их тектоно-магматическое положение и тип литогенеза, гидродинамику водного потока, определяет технологические свойства россыпей [19].

Рекомендованная методикой [9] шкала при анализе крупности россыпного золота используемая в большинстве производственных и научных организаций не позволяет с более высокой точностью оценить степень сортированности, среднюю крупность золота, в полной мере охарактеризовать процессы россыпеобразования.

Анализ литературных данных и собственных исследований по крупности золота, базирующихся на указанной выше гранулометрической шкале, показывает, что характер распределения частиц золота по крупности, как правило, одномодальный, реже бимодальный, с доминированием мелкого или среднего, крупного золота (табл.1).

Впервые логнормальный закон распределения частиц золота по крупности обоснован для россыпей Колымы Н.К. Разумовским [15]. Позднее логарифмически-нормальное распределение размеров частиц при их дроблении доказано А.Н. Колмогоровым в 1941 году [6].

Пермскими исследователями при анализе крупности мелко-россыпного золота используется дробная  $\gamma$ -шкала В.П. Батурина. Обработка результатов, получаемых при выполнении дробных гранулометрических анализов, позволяет строить кумулятивные и дифференциальные кривые и находить статистические параметры распределения.

При изображении дробных анализов золота на логарифмически-вероятностном графике в виде кумулятивных кривых отмечено, что они имеют вид ломаных линий, которые могут быть аппроксимированы одной прямой, соответствующей логнормальному распределению с усечением конечных отрезков [11]. Логнормальность распределения частиц

россыпного золота свидетельствует о принадлежности их единой совокупности, формирование которой продолжалось в течение длительного времени за счет размыва промежуточных коллекторов (рис. 1) [13]. Было также высказано предположение, что усечение в части распределения, соответствующего крупным классам, связано с малым объемом разведочных проб, в связи, с чем крупные знаки золота в пробу не попадают. Усечение в области тонкого и пылевидного золота – возможные потери при обогащении [8].

Таблица 1

*Гранулометрический состав золота россыпей, мас. %*

| № п/п | Россыпь                              | Класс, мм |       |       |       |          |          |      |
|-------|--------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|----------|------|
|       |                                      | +5        | 5-3   | 3-1   | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | <0,1 |
| 1     | Федоровская<br>(Куз. Алатау)         | 10        | 21    | 17    | 7     | 9        | 22       | 14   |
| 2     | Мухтуйская<br>(бас. Средней<br>Лены) | 1,25      | 2,02  | 13,34 | 48,88 | 30,75    | 3,76     |      |
|       |                                      |           | 4-2   | 2-1   | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,1 | <0,1 |
| 3     | р. Маят<br>(бассейн<br>р. Анабар)    |           | 6     | 60    | 10    | 14       | 7        | 3    |
| 4     | Зост Сайр<br>(Монголия)              |           | 7,8   | 43,6  | 32,6  | 13,4     | 2,6      | -    |
| 5     | Кыввож<br>(Тиман)                    |           | -     | 1     | 10    | 56       | 32       | 1    |
| 6     | р. Миасс                             |           | 11,16 | 14,57 | 24,02 | 25,5     | 18,81    | 5,94 |
| 7     | Черноборская                         |           | 8,78  | 37,03 | 34,95 | 17,74    | 4,38     | 0,12 |
| 8     | Михайловская                         |           | -     | 33,14 | 28,28 | 22,04    | 16,06    | 0,48 |
| 9     | Старопоклев-<br>ская                 |           | -     | 29,33 | 20,42 | 26,50    | 22,55    | 1,20 |
| 10    | Полигон-8                            |           | 2,71  | 10,26 | 18,64 | 33,09    | 34,64    | 0,66 |
| 11    | Воронинская                          |           | -     | -     | 26,18 | 37,10    | 36,54    | 0,18 |
| 12    | Саранпауль                           |           | -     | -     | 4,92  | 32,93    | 55,63    | 6,52 |
| 13    | р. Чирчик                            |           | -     | 6,4   | 42,3  | 28,5     | 16,0     | 6,8  |

Примечание: 1 – по Колпакову В.В. [7]; 2 – по Суринной А.А. и др. [17]; 3 – по Герасимову Б.Б., Никифоровой З.С. [3]; 4 – по Агафонову Л.В. и др. [1]; 5 – по Глухову Ю.В. и др. [4]; 6-13 – данные автора

Аналогичное распределение с усечением кумулятивной кривой в конечных отрезках было установлено в идеализированном терригенном

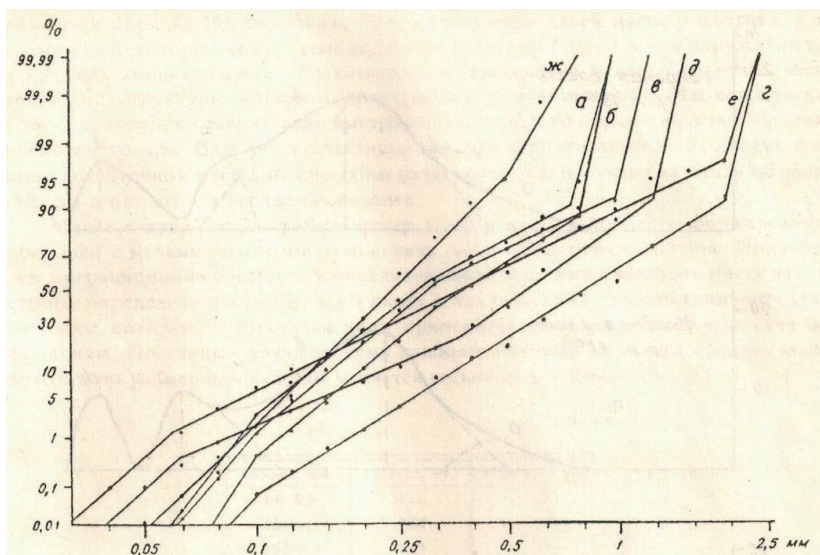


Рис. 1. Кумулятивные кривые распределения части золота по крупности (средние для россыпей): а – Старопоклевская; б – Михайловская; в – Полигон №8; г – Черноборская (Южный Урал); д – р. Тутуяс (Кузбасс); е – Кожим (Приполярный Урал); ж – р. Сололи (Якутия) [13]

осадке [16]. Интерпретация полученных данных показывает, что прямой отрезок, имеющий ведущее значение, соответствует логнормальному распределению и свидетельствует о переносе частиц в виде сальтации, представляющей их скачкообразное перемещение в потоке. Выделяемые на кумулятивной кривой точки перегиба в виде усеченных хвостов распределения говорят о смене способа переноса частиц или различных режимах потока. В частности, усечение в области тонких фракций свидетельствует о переносе во взвешенном состоянии (суспензионная популяция), а в области крупных фракций о переносе по дну, качением (донная популяция).

По принципу аналогии не исключено, что выявленная закономерность строения кумулятивных кривых для мелкого золота помимо технологических факторов имеет и природный фактор, а именно смена способа переноса частиц золота или различные режимы водного потока.

В 1960 году Дж. Керреем был предложен метод реставрации исходной популяции терригенных осадков посредством построения кумулятивной кривой распределения и производной от нее дифференциальной кривой с последующим расчленением полимодальной кривой распределения на отдельные компоненты распределения, каждое из

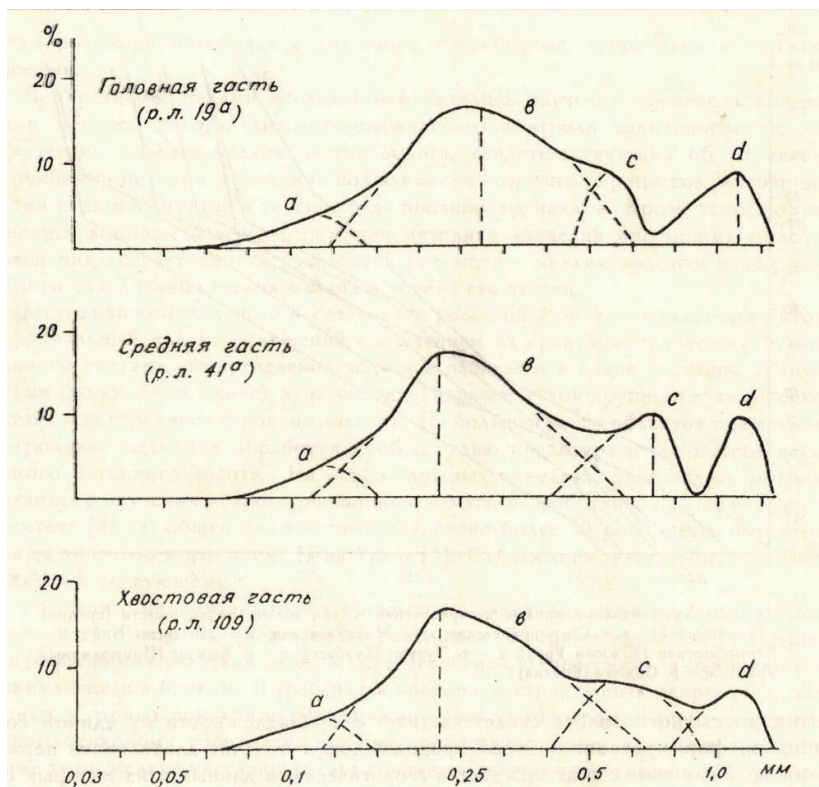


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения частиц золота россыпи Полигон №8 (Южный Урал) по крупности с выделением субраспределений (a-d) [13] которых является приблизительно логарифмически-нормальным [2].

Применительно к россыпям с мелким золотом отдельные компоненты полимодального распределения были выделены Б.М. Осовецким [11] с применением методики А. Хальда [18] и названы субраспределениями (микропопуляциями) золота (рис. 2). Появление данных популяций может быть связано с разнообразием морфологии частиц золота в одном источнике питания, с наличием нескольких источников питания, строением россыпи по латерали, различными динамическими фазами аллювия, степени зрелости отложений [12]. В хорошо сортированном зрелом аллювии одно из них резко преобладает, что является следствием сортировки мелких частиц золота в процессе их переноса в водно-аллювиальной среде [13].

Анализ кумулятивных и дифференциальных кривых имеет и

прикладной аспект, о котором говорилось ранее [5]. Кратко его можно сформулировать следующим образом. Это нахождение статистических характеристик распределения средней крупности  $M$  и сортированности –  $S$ , имеющих значение для определения размера отверстий грохотов, оценки потерь золота при обогащении. Если исключены нарушения технологии производства ситового анализа, то причины систематических отклонений от логнормальной функции могут заключаться либо в аномалиях исходной природной совокупности золота, при наличии нескольких генераций кривые распределения имеют несколько вершин, либо в особенностях процесса обогащения, промывки [14].

Частицы россыпного золота, как и терригенные породы, сложены зернами различного диапазона, поэтому вопрос применения той или иной шкалы важен во всех отношениях, включая практическое использование результатов.

#### *Библиографический список*

1. Агафонов Л.В., Жмодик С.М., Лхамсури Ж., Айриянц Е.В., Белянин Д.К. Золото-МПГ россыпи Южно-Гобийского сектора Центрально-Азиатского складчатого пояса // Материалы XIV международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения» / Новосибирск: Изд-во ООО «Апельсин», 2010. С. 29-34.
2. Алексеев В.П., Амон Э.О. Седиментологические основы эндолитологии. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 476 с.
3. Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Золотоносность Лено-Анабарского междуречья // Материалы XIII международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения». Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2005. С. 45-47.
4. Глухов Ю.В., Кузнецов С.К., Котречко Е.Ю. Аллювиальное золото Среднего Кывожа (Тиман) // Материалы XVI международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология» / Пермь: Изд-во Перм.гос. нац. исслед. ун-та, 2015. С. 42-44.
5. Илалдинов И.Я. О прикладном значении гранулометрических характеристик россыпного золота // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Вып. 20. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2017. С. 9-12.
6. Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении // ДАН АН СССР. 1941. Т.31. №2. С.99-101.
7. Колпаков В.В. Типоморфизм самородного золота Федоровского месторождения (Кузнецкий Алатау) // Материалы XIV международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения» / Новосибирск: Изд-во ООО «Апельсин», 2010. С. 324-329.
8. Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. Методика поэтапного изучения россыпного золота // Кольма. №11. 1979. С. 36-37.
9. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. М.: ЦНИГРИ. 1992. 307 с.
10. Нестеренко Г.В. Прогноз золотого оруденения по россыпям (на примере районов юга Сибири). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 191 с.
11. Осовецкий Б.М. К вопросу о концентрации мелкого золота в аллювиальных россыпях // Геология рудных месторождений. 1980. №1. С. 107-113.
12. Осовецкий Б. М. Тяжелая фракция аллювия. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. 259 с.

13. *Осовецкий Б.М., Илалтдинов И.Я.* Проблемы мелкого россыпного золота // Геология 2, М.: Изд-во МГУ. 1995. С. 219-224.
14. *Поляницын А.В.* Статистические характеристики granulometрии золота Ленских россыпей // Вопросы геологии и золотоносности Ленского района. Иркутск. 1969. С. 218-235.
15. *Разумовский Н.К.* Механический состав россыпного золота и новые данные по методике подсчета запасов россыпей // Золотая промышленность. №12. 1939. С. 39-48.
16. *Романовский С.И.* Физическая седиментология. Л.: Недра. 1988. 240 с.
17. *Сурнина А.А., Сурнин А.А., Никифорова З. С.* Мухтуйская золотоносная площадь и проблемы извлечения золота мелких классов // Материалы XIII международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения». Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2005. С. 274-275
18. *Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Изд-во ИЛ, 1956. 625 с.
19. *Шило Н.А.* Учение о россыпях. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.

## SCALE VALUE IN STUDYING THE SIZE OF PLACER GOLD

**I.J. Ialtdinov**

*Ialtdinov@psu.ru*

Placer gold particles are an integral part of terrigenous sediments. When studying the size of placer gold, it is advisable to use a logarithmic scale to explain the processes of gold accumulation and solve applied problems.

*Keywords: gold, size, logarithmic scal*