

*А.К. Козин<sup>1</sup>, С.Ю. Степанов<sup>1</sup>, Э.Ш. Алиев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Россия  
kozin@mineralogy.ru*

*<sup>2</sup> – TOO Eurasian Minerals, г. Астана, Казахстан*

**Морфологические особенности и гранулометрический состав самородного золота россыпи Сарыбулак, Восточный Казахстан**  
(научный руководитель – д.г.-м.н. Е.В. Белогуб)

*А.К. Kozin<sup>1</sup>, S.Yu. Stepanov<sup>1</sup>, E.Sh. Aliev<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia*

*<sup>2</sup> – Eurasian Minerals, Astana, Kazakhstan*

**Morphological features and granulometric composition of native gold from the Sarybulak placer, East Kazakhstan**

**Abstract.** Granulometric composition of native gold from the Sarybulak placer indicates that a higher velocity and a high rate of flattening of fine gold is responsible for the predominance of large gold particles in the upper and middle parts of the placer and an increase in the amount of small gold particles with the distance from the gold source. Mechanical deformations in residue and talus are expressed in rounding of gold grains. Flattening is typical of alluvial native gold, which was transported over a distance of at least 3 km. The Sarybulak placer formed due to erosion of primary sources in the upper reaches of water streams involving small gold-bearing quartz veins, which are located on slopes of a river valley throughout the placer.

*Введение.* Особенности формы и размера индивидов и агрегатов самородного золота в россыпных месторождениях традиционно рассматриваются в качестве важного типоморфного признака, отражающего процессы экзогенного преобразования золота. Определение степени окатанности широко используется для оценки дальности переноса и прогноза расположения коренных источников. Исследованию данного вопроса посвящено большое количество работ, однако в большинстве из них рассматриваются россыпи, коренные источники которых не установлены либо определена лишь их генетическая принадлежность. При этом наиболее полное представление о процессах преобразования самородного золота в поверхностных обстановках можно получить лишь при рассмотрении шлихового золота из отложений на протяжении всего пути его транспортировки. В ходе переноса от коренного источника самородное золото последовательно оказывается в различных типах рыхлых отложений, образующих непрерывный генетический ряд: элювиальные – делювиальные – аллювиальные. Цель работы – выявление закономерностей изменения форм и размеров самородного золота на каждом этапе его транспортировки и в различных типах рыхлых отложений. В качестве объекта исследования выбрана группа россыпей р. Сарыбулак в Восточном Казахстане. На этой территории ввиду простого геологического строения и малого количества растительности легко устанавливается связь россыпей с коренными объектами, а также доступны для опробования все генетические типы рыхлых отложений.

Россыпи располагаются в Западно-Калбинской складчатой зоне в полосе каменноугольных углисто-глинистых алевролитов и песчаников. Терригенные породы вмещают многочисленные одиночные жилы и их скопления, часть из которых золотоносна. Промышленные содержания россыпного золота приурочены к нижним частям мощного (до 6 м) разреза четвертичных аллювиальных отложений в современной долине р. Сарыбулак, а также ее при-

токов: рр. Бутагора и Койшибай. Разведанная протяженность россыпей составляет ~17 км. В верховьях водотоков располагаются два известных объекта с коренной золотой минерализацией: золотокварцевые рудопроявления Четырехлетка и Аиргезень [Моисеев и др., 1965], послужившие источником для россыпей. Непромышленные содержания и единичные знаки самородного золота установлены в делювиальных отложениях склонов долин и элювии вблизи кварцевых жил.

*Материалы и методы.* Основой для исследования стали крупнообъемные шлиховые пробы, отобранные из элювиальных, делювиальных и аллювиальных отложений в ходе поисковых работ и эксплуатационной разведки россыпей. Данные о гранулометрическом составе получены путем ситового анализа россыпного золота, извлеченного при обогащении золотоносных песков объемом 4000–5000 м<sup>3</sup> на промывочном приборе ПБШ-100. Гранулометрический анализ самородного золота россыпи проводился по навескам шлихового золота, полученным в ходе промышленного обогащения песков, что обеспечивает высокую представительность проб. Морфологические особенности самородного золота изучены с применением стереомикроскопа и сканирующего электронного микроскопа Vega3 Tescan Sbu (аналитик М.А. Рассомахин) в Южно-Уральском федеральном научном центре минералогии и геоэкологии УрО РАН.

*Результаты исследования.* Полученные результаты наиболее точно отражают реальное распределение гравитационно-обогащаемого золота по классам крупности. Гранулометрический состав определялся на четырех участках россыпи, расположенных на различном расстоянии от истока реки, где расположен основной коренной источник (табл.). В среднем течении р. Сарыбулак (12.2 км от истока) наиболее распространены зерна золота классов крупности +5 и –5+1 мм (до 70 % всего золота). В нижней части россыпи (17.3–24.5 км от истока) резко сокращается количество зерен золота размером больше 5 мм, а основная часть золота равномерно распределена по трем классам крупности –5+1, –1+0.5 и –0.5 мм.

Индивиды золота в элювиальных отложениях характеризуются цементационными и интерстициональными формами и сохраняют рудный облик (рис. а). На их поверхностях часто отмечаются ступенчатые отпечатки, отражающие совместный рост с жильными минералами. Многочислены сростания с кварцем. Изменения первичной формы незначительны и выражаются в слабых деформациях выступающих частей зерен золота.

В делювиальных отложениях преобладают комковидные зерна самородного золота средней степени окатанности (рис. б, в). Возрастает степень механических деформаций, выраженная в обмятии и загибании выступающих краевых частей зерен золота к центру. Общие очертания индивидов сохраняют изометричный либо слабоудлиненный облик, размеры по разным направлениям отличаются в 1–2 раза. Поверхности несут следы смятия и перековки, редко сохраняются участки первичных ростовых поверхностей. Сростания с кварцем и другими жильными минералами очень редки.

Таблица

**Гранулометрический состав самородного золота россыпи р. Сарыбулак**

Фракция крупности, мм	Расстояние от истока							
	12.2 км		17.3 км		17.4 км		24.5 км	
	Масса, г	%	Масса, г	%	Масса, г	%	Масса, г	%
+5	129.8	33.0	26.4	5.9	71.7	8.3	32.1	7.6
–5+1	139.3	35.4	119.7	27.0	285.7	33.1	135.7	31.9
–1+0.5	55.8	14.2	127.5	28.7	261.8	30.3	126.0	29.7
–0.5	68.1	17.3	170.1	38.3	245.0	28.3	131.1	30.9

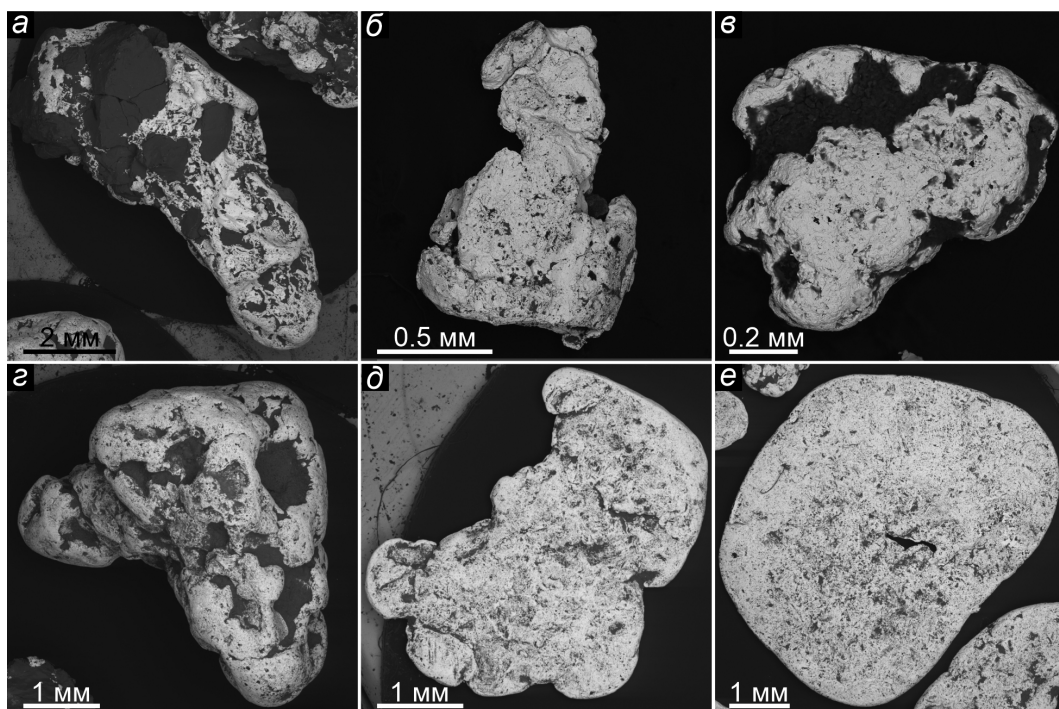


Рис. Самородное золото из отложений различных генетических типов: а – элювиальных; б, в – делювиальных; г–е – аллювиальных.

Большее разнообразие форм зерен золота наблюдается в аллювиальных отложениях. Наряду со средне- и хорошоокатанными комковидными (рис. г) индивидами распространены сильно уплощенные (рис. д) и чешуйчатые с закругленными краями (рис. е). Степень уплощения (рассчитана по формуле  $(A+B)/2C$ , где А – ширина, В – длина, С – толщина) варьирует от 1–2 для комковидных форм до 8–9 – для чешуйчатых. Преобладают грубошагреневые и бугристые закругленные поверхности индивидов. Для наиболее уплощенных индивидов характерно утончение центральных частей по сравнению с периферическими вплоть до образования сквозных отверстий (рис. е). Отсутствуют срастания самородного золота с жильными минералами. По мере удаления от коренного источника доля уплощенных и чешуйчатых частиц повышается, при этом на протяжении всей россыпи в небольшом количестве встречаются слабоокатанные зерна золота.

*Обсуждение.* Морфологические особенности индивидов самородного золота и распределение их по классам крупности на различном удалении от коренного источника отражают закономерности их преобразования при транспортировке в экзогенных условиях.

Гранулометрический состав частиц самородного золота в средней и нижней частях россыпи р. Сарыбулак принципиально отличается. Наблюдается уменьшение доли индивидов фракции +5 мм и увеличение доли фракций –1+0.5 и –0.5 мм. Процентное содержание частиц фракции –5+1 мм остается высоким и составляет около трети всей массы золота. Движение частиц в водном потоке контролируется двумя факторами: гидравлической крупностью частиц и динамическим режимом потока [Копылов, 2002]. В большей степени гидравлическая крупность влияет на поведение мелких частиц [Шило, Шумилов, 1970; Нестеренко, Колпаков, 2008], что обуславливает наблюдаемое в россыпи р. Сарыбулак значительное повышение доли зерен золота меньших классов в нижнем течении реки. Мелкие частицы быстрее под-

даются уплощению вследствие механических деформаций, что дополнительно повышает их подвижность в гидродинамической среде.

Полученные результаты изучения морфологических особенностей подтверждают ранее установленные закономерности, что при транспортировке самородного золота в рыхлых отложениях с вершин по склонам к речным долинам и далее в водотоках индивиды окатываются и постепенно уплощаются. Эти закономерности соответствуют общему тренду изменения формы зерен золота в россыпях [Никифорова и др., 2020]. Однако заметно уплощенные частицы самородного золота обнаружены только в аллювиальных отложениях средней и нижней частей россыпи, в то время как в элювии и делювии механические деформации проявляются только в окатывании индивидов и приближении их формы к комковидной. Эти наблюдения указывают на то, что для уплощения частиц самородного золота требуются деформации, вызванные нахождением этого минерала в гидродинамической среде при транспортировке, по меньшей мере, на несколько километров. Подобные выводы сделаны при изучении золотоносных россыпей Юкона, для которых установлено значимое уплощение зерен золота в россыпях, удаленных от коренных источников более, чем на 3 км [Knight et al., 1999].

Присутствие в россыпи индивидов различной степени уплощения может быть объяснено разницей первичных форм золота. Однако повсеместно встречаемые зерна золота слабой степени окатанности, близкие по форме к золоту из элювия и делювия, указывают на дополнительные мелкие источники, расположенные вдоль россыпи. Таким образом, формирование россыпей р. Сарыбулак происходило, в первую очередь, за счет рудопроявлений Четырёхлетка и Аиргизень в верховьях водотоков и при ограниченном участии кварцевых жил в ее долине.

*Выводы.* В результате изучения гранулометрического состава россыпного золота в отложениях р. Сарыбулак установлено, что повышенная гидравлическая крупность и большая скорость уплощения мелких частиц самородного золота определяет преобладание крупных его зерен в верхней и средней частях россыпи и увеличение доли мелкого золота по мере удаления от коренного источника. Установлены отличия изменения формы зерен золота в процессе транспортировки. При движении в рыхлых отложениях частицы самородного золота окатываются, и их форма приближается к комковидной, а при переносе в гидродинамической среде частицы приобретают уплощенный облик. Формирование россыпей р. Сарыбулак и ее притоков происходило за счет коренных источников в верховьях водотоков при ограниченном участии более мелких объектов коренной минерализации, расположенных на склонах долин рек на всем протяжении россыпи.

## Литература

*Копылов Р.Н.* Дифференциация золота в аллювиальных пластовых россыпях. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2002. 144 с.

*Нестеренко Г.В., Колтаков В.В.* Сепарация мелкого золота реками областей денудации // Доклады Академии наук. 2008. Т. 423. № 5. С. 656–658.

*Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А.* Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 11. С. 1514–1534.

*Моисеев Э.Г., Гольдман Г.И., Иванов Н.П., Попова Н.Н.* Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Рудно-Алтайская. Лист М-44-XXIII. Объяснительная записка. М.: Недра, 1965. 100 с.

*Шило Н.А., Шумилов Ю.В.* Новые экспериментальные данные о поведении частиц золота в водной среде // Доклады Академии наук. 1970. Т. 195. № 1. С. 193–196.

*Knight J.B., Morison S.R., Mortensen J.K.* The relationship between placer gold particle shape, rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada // Economic Geology. 1999. Vol. 94. № 5. P. 635–648.