

ТОНКОДИСПЕРСНОЕ ЗОЛОТО В РОССЫПЯХ КАЗАХСТАНА

М.Р. Шаутинов¹, А.В. Третьяков², Т.М. Алменов¹, В.В. Перегудов³, С.А. Асылханова¹

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: almen_t@mail.ru, asylkhanovas@mail.ru

² ТОО Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

³ ТОО КРИЦ-НТК, Степногорск, Казахстан

Аннотация: Цель исследования – выявление наличия и закономерностей пространственного распределения тонкодисперсного золота размером менее 10 мкм в россыпных месторождениях Республики Казахстан, определение форм его нахождения и выделение участков, благоприятных для аккумуляции. Исследования выполнены в три этапа. На первом с применением метода геолого-геоморфологических аналогий установлены условия локализации россыпей, содержащих мелкое, тонкое и тонкодисперсное золото. На втором проведена оценка геологической изученности выделенных участков. На третьем на перспективных участках проведены поисково-оценочные работы. Определены геолого-геоморфологические условия, благоприятные для аккумуляции тонкодисперсного золота, и выделены перспективные участки, предварительно оценены их прогнозные ресурсы. На наиболее изученном участке установлено несколько минеральных ассоциаций, различающихся условиями формирования и формой нахождения тонкодисперсного золота, на долю которого приходится до 76% от всего количества благородного металла. Вовлечение тонкодисперсного золота в изучение при геологоразведочных работах и его извлечение на стадии добычи позволит увеличить как потенциал золота в недрах, так и поступление драгоценного металла в казну Республики Казахстан.

Ключевые слова: золото, россыпь, тонкодисперсное золото, связанное золото, сцинтилляционный анализ.

Благодарность: Статья написана по результатам работ по проекту AP23488914 «Разработка технологии количественной оценки тонкодисперсного золота в природных и техногенных объектах и оценка перспектив его обнаружения на территории Казахстана» в рамках грантового финансирования на 2024–2026 годы. Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Для цитирования: Шаутинов М. Р., Третьяков А. В., Алменов Т. М., Перегудов В. В., Асылханова С. А. Тонкодисперсное золото в россыпях Казахстана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 9. – С. 115–136. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_9_0_115.

Fine-dispersed gold at placers in Kazakhstan

M.R. Shautenov¹, A.V. Tretyakov², T.M. Almenov¹, V.V. Peregudov³, S.A. Assylkhanova¹

¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan

² Institute of Geological Sciences named after K.I. Satbayev LLP, Almaty, Kazakhstan

³ KRITS-NTK LLP, Stepnogorsk, Kazakhstan, e-mail: almen_t@mail.ru, asylkhanovas@mail.ru

Abstract: The research aims to reveal and determine spatial distribution of fine-dispersed gold smaller than 10 μm in size at placers in the Republic of Kazakhstan, to define the forms of such gold occurrence and delineate the sites favorable for its accumulation. The research had three stages. At the first stage, the method of geological and geomorphological analogies determined the localization conditions at placers of small, fine and fine-dispersed gold. At the second stage, the level of geological knowledge on the selected sites was assessed. At the third stage, the exploration and appraisal of the promising sites was carried out. On the best studied site, a number of mineral associations were found, differing in conditions of formation and in forms of occurrence of fine-dispersed gold which embraces up to 76% of total quantity of the noble metal. Inclusion of fine-dispersed gold in geological exploration studies and its recovery during mining can enhance both gold potential of the subsoil and treasure supply of the Republic of Kazakhstan.

Key words: gold, placer, fine-dispersed gold, fixed gold, scintillation analysis.

Acknowledgements: The article is based on the results of Project No. AP23488914 «Development of technology for quantitative assessment of finely dispersed gold in natural and man-made objects and assessment of the prospects for its detection in the territory of Kazakhstan», implemented within the framework of grant financing for 2024–2026. The study was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

For citation: Shautenov M. R., Tretyakov A. V., Almenov T. M., Peregudov V. V., Assylkhanova S. A. Fine-dispersed gold at placers in Kazakhstan. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(9):115-136. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_9_0_115.

Введение

Увеличение золотовалютных резервов Республики Казахстан является одним из ключевых факторов обеспечения устойчивого экономического развития и укрепления финансовой стабильности государства [1–3]. В современных условиях золото рассматривается не только как стратегический финансовый актив, но и как важный инструмент снижения макроэкономических рисков, диверсификации национальных резервов и повышения инвестиционной привлекательности страны [2–4].

В этой связи особую актуальность приобретает вовлечение в хозяйствен-

ный оборот новых типов золотоносного сырья, включая объекты, содержащие мелкое, тонкое (МТЗ) и тонкодисперсное (ТДЗ) золото крупностью менее 0,01 мм (табл. 1), локализованное в рудах, углях и россыпных отложениях. Расширение минерально-сырьевой базы за счет таких ресурсов рассматривается как одно из приоритетных направлений развития горнодобывающей отрасли. Необходимость данного направления обусловлена постепенным истощением традиционных месторождений, представленных преимущественно золотом средних и крупных фракций, а также снижением их промышленной доступности. В то же

Таблица 1

Классификация зерен золота по крупности
Classification of gold grains by size

Размеры зерен, мм	+0,25	-0,25+0,1	-0,1+0,01	-0,01
Классификация	Среднее-крупное	Мелкое (МТЗ)	Тонкое (ТЗ)	Тонкодисперсное (ТДЗ)

время значительные объемы золота сосредоточены в тонких и тонкодисперсных формах, которые в настоящее время недостаточно учитываются при оценке запасов и ограниченно вовлекаются в промышленное освоение вследствие технологических и методических сложностей их извлечения.

Анализ опубликованных данных о строении крупнообъемных россыпей, содержащих МТЗ, известных в России, Казахстане и других регионах мира

Общеизвестно, что россыпные месторождения формируются в результате разрушения коренных рудных источников и развитых на них кор выветривания (зон окисления). В связи с этим в составе продуктивных песков присутствуют различные формы золота в широком диапазоне гранулометрических и генетических характеристик. В каждой россыпи сохраняется «рудное начало» золота, отражающее процессы гипергенного преобразования в корях выветривания и последующего обломочного накопления в рыхлых отложениях. Процесс аллювиального россыпеобразования может быть рассмотрен как природный механизм самоизмельчения, аналогичный действию крупномасштабной мельницы, в которой роль измельчающих тел выполняют обломки пород и руд. В результате формируются россыпи, характеризующиеся распределением золота по фракциям: от крупного в грубообломочных частях до мелкого, тонкого и тонкодисперсного — в тонких и шламовых фракциях.

В ряде золотоносных провинций мира выявлены месторождения, в которых преобладают частицы самородного золота тонких и субмикроскопических размеров. Частицы крупностью менее 0,2—0,05 мм относятся к категориям тонкого, сверхтонкого, дисперсного и

кластерного золота, при этом значительная их доля (60—70%) по гидравлическим характеристикам относится к категории «плавающего» (нетонущего) золота. Месторождения подобного типа широко распространены в США, Канаде, России и других странах, однако значительная их часть не учитывается в балансе запасов и не вовлекается в разработку вследствие отсутствия эффективных технологических решений. Отдельные примеры их освоения известны в России (Большой Кураны, Нагиминская и Петровская россыпи) и других странах, однако в настоящее время остаются не решенными ключевые научно-технические, горнотехнические, технологические, экологические и нормативно-правовые проблемы освоения крупнообъемных россыпей [4, 5]. К числу объектов данного типа относится Такыр-Кальджирский участок Южно-Алтайского золотоносного района (Республика Казахстан). Поэтому золото россыпных месторождений характеризуется значительной гранулометрической неоднородностью и представлено широким спектром форм: от классического шлихового до мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота. К настоящему времени потенциал «традиционных» долинных россыпей, содержащих золото крупных и средних фракций (более 0,25 мм), на территории Республики Казахстан в значительной степени исчерпан. В структуре минерально-сырьевой базы страны доля россыпных месторождений составляет около 0,5% балансовых запасов золота, тогда как в мировом масштабе данный показатель достигает около 4%, а в России — до 19% [6].

В связи с этим исследование закономерностей распространения, форм нахождения и условий аккумуляции тонкодисперсного золота в россыпных месторождениях Республики Казахстан,

а также разработка подходов к его выявлению и вовлечению в промышленное освоение представляют собой актуальную научно-техническую задачу, направленную на расширение сырьевой базы золота и повышение эффективности ее использования.

Распространение ТДЗ

в россыпных месторождениях

Авторами данной статьи с 2005 г. проводятся исследовательские работы по изучению МТЗ [2] и ТДЗ в россыпях Казахстана [3, 4], а также выполнена прогнозная оценка перспектив вновь выделенных россыпных площадей.

Одной из первых на важную роль ТДЗ обратила внимание Н.В. Петровская [5], отметившая, что эта форма самородного золота является универсально распространенной, а его общее количество очень велико.

Б.М. Осовецким [7] определены основные минералы, благоприятные для концентрации ТДЗ — сульфиды, гетит, платиноиды, кварц, магнетит, карбонаты.

Условия локализации крупных россыпей с МТЗ и ТДЗ

Исследования В.П. Полеванова [8] и Р.А. Амосова [9], а также результаты наших работ показали, что формирование россыпей с МТЗ и ТДЗ происходит в констративных условиях накопления рыхлого материала.

Особенности изученных месторождений этих типов проиллюстрируем объектами в Якутии и Амурской области России.

Так, россыпь реки Большой Куранах в Якутии залегает в долине, возникшей в результате неотектонического опускания Куранахского грабена [10], который пересекают долины рек Большой Куранах, Селигдар и Якокут, вмещающие «традиционные» долинные россыпи золота. Медленное опускание грабена спо-

собствовало накоплению аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, озерно-аллювиальных и озерных отложений. Констративный гидродинамический режим водотоков обусловил распределение золота по всему разрезу рыхлых отложений, мощность которых достигает 65 м. Коренными источниками россыпного золота являются рудопроявления Куранахского и Лебединского золото-рудных полей, расположенных в пределах обрамления грабена.

По данным Р.А. Амосова [9], протяженность промышленной части россыпи около 20 км, ширина изменяется от 200—300 до 1200 м, составляя в среднем 650 м. Средняя мощность торфов 7,6 м, песков — 26,5 м (от 3,3 до 51,7 м). В промышленном контуре содержание золота колеблется от 200 до 500 мг/м³, оно более значительно на участках впадения золотоносных притоков. Золото представлено преимущественно мелкими и тонкими классами, около 55% относится к классу «–0,25 мм».

Запасы золота составляют 162,7 т (5,2 млн унций), в том числе извлекаемого гравитационным методом 68,1 т, в то время как 94,6 т (58,14%) относятся к негравитируемым классам крупности и представлены тонкодисперсными классами.

В Амурской области известны аналогичные описанной Нагиминская и Петровская погребенные россыпи впадин [11].

Нагиминская россыпь локализована во впадине, примыкающей к зоне Южно-Тукурингского разлома. Протяженность впадины около 1 км, ширина достигает 250 м. Коренными источниками золота являются многочисленные кварцево-жильные зоны, развитые в обрамлении впадины [11, 12].

Мощность продуктивных отложений (от палеогеновых до четвертичных) около 250 м. Они представлены озерными

глинами с прослоями песков и гравийно-галечных отложений. Повышенная золотоносность отмечается по всему разрезу. Мощность продуктивного пласта изменяется от 33 до 57 м. Среднее содержание золота на пласт составляет 1147 – 1411 мг/м³. Золото преимущественно мелкое и тонкое [13 – 15].

Петровская россыпь локализована в грабен-долине шириной до 700 м. Коренными источниками золота служили многочисленные кварцево-жильные зоны, развитые в обрамлении впадин [16 – 18].

Мощность продуктивных верхнеплиоцен-голоценовых пролювиальных и озерно-аллювиальных отложений достигает 34 м. Выделяются два пласта, из которых нижний (мощностью до 5,9 м) характеризуется высоким – до 14 г/м³ содержанием золота, представленного зернами мелких и тонких классов [19 – 22].

Таким образом, описанные большеобъемные россыпи характеризуются следующими особенностями.

Во-первых, они образуются в пространственной связи с долинными россыпями в границах золотоносных узлов.

Во-вторых, они локализованы в неотектонических впадинах и связаны с аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, озерно-аллювиальными и озерными отложениями, выполняющими впадины.

В-третьих, они характеризуются конседиментационным характером формирования многочисленных, этажно расположенных золотоносных пластов, не выдержанных по ширине, простираению и мощности, и огромными объемами песков (что дало основание для обозначения их термином «большеобъемные россыпи»), а также невысоким в целом содержанием золота.

В-четвертых, в них развито мелкое и тонкое пластинчатое золото, а также

тонкодисперсное золото, причем последнее составляет преобладающую массу запасов.

Методы исследований

Работа выполнена в несколько этапов (см. рис. 1). На первом этапе исследований проведен системный анализ опубликованных данных, характеризующих особенности строения крупнообъемных россыпей, содержащих мелкое и тонкое золото, известных на территории России, Казахстана и других регионов мира, а также выполнено исследование геолого-геоморфологических условий их локализации. На основе полученных результатов осуществлен геолого-геоморфологический анализ золотоносных районов Республики Казахстан, по итогам которого с применением метода аналогий выделены перспективные участки, потенциально благоприятные для формирования аналогичных россыпных образований.

На втором этапе исследований проведена комплексная оценка степени геологической изученности участков, ранее выделенных в качестве перспективных на территории Республики Казахстан, а также осуществлен детальный анализ и обобщение материалов предшествующих исследований.

На третьем этапе исследований на наиболее перспективных участках реализован комплекс детальных поисково-разведочных работ, включающий отбор минералого-технологических проб и проведение лабораторных исследований. В результате установлено, что мелкое и тонкое золото на данных участках ассоциировано с тонкодисперсным золотом размером менее 10 мкм, детальному изучению генетических и вещественных особенностей которого посвящена настоящая работа.

Минералого-технологические исследования проб выполнены на базе ТОО

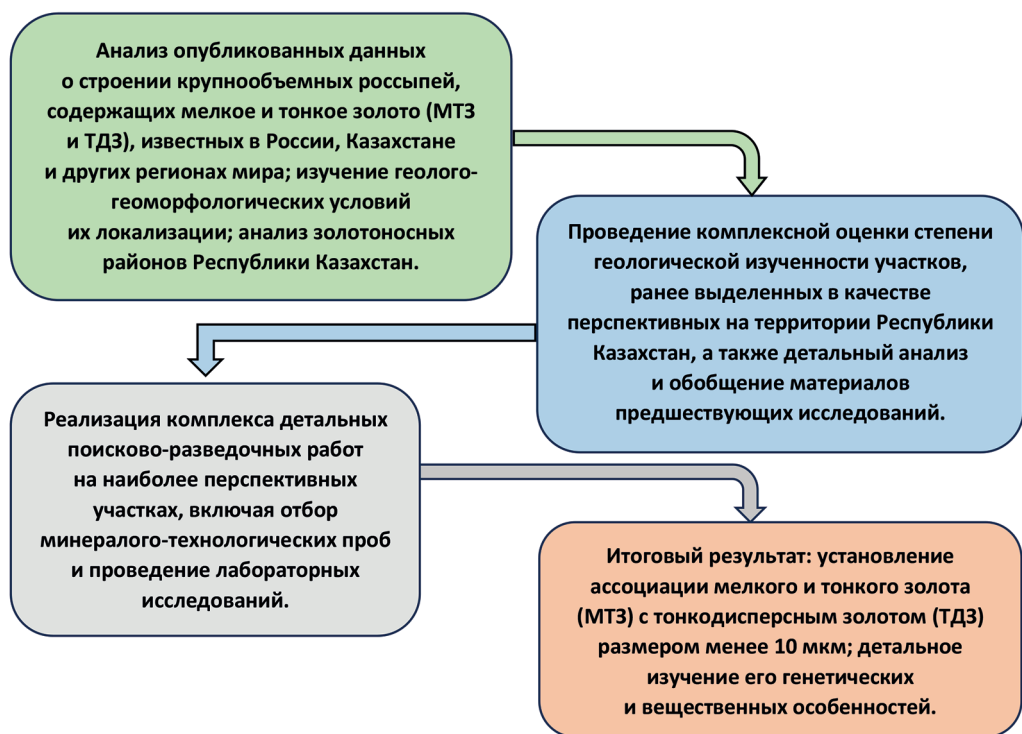


Рис. 1. Алгоритм исследования и последовательность этапов достижения цели
Fig. 1. Research algorithm and sequence of stages for achieving the objective

«КРИЦ НТК» (г. Степногорск). В их состав входили: гранулометрический анализ обломочного материала с детальной характеристикой фракционного состава; пофракционное гравитационное обогащение; количественная оценка содержания свободного и связанного золота в продуктах обогащения с последующим минералогическим анализом.

Аналитические исследования, включая атомно-абсорбционный и фазовый анализы, проводились в аккредитованных (аттестованных) лабораториях ТОО «ЭкоЛюкс», ТОО «Реактив» (г. Степногорск) и ТОО «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы).

Прецизионные исследования минерального состава и отдельных минералов с применением методов электронной микроскопии, микрозондового анализа и рентгеновской дифрактометрии

выполнены в минералогической лаборатории ТОО «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы). Сцинтилляционный анализ проведен в ТОО «Центр Консалтинг» (г. Алматы).

Результаты и обсуждение

Перспективные участки формирования большеобъемных россыпей с МТЗ и ТДЗ на территории Республики Казахстан

Впервые на вероятность обнаружения «большеобъемных» россыпей с мелким и тонким золотом в Казахстане было указано в 2005 г. [2], когда методом аналогий с многопластовыми россыпями во впадинах (Большой Куранах, Нагиминская, Петровская и др.), на основании анализа геолого-геоморфологических данных были выделены перспективные для их формирования участки,

расположенные в Южно-Алтайском, Западно-Калбинском, Северо-Тянь-Шаньском, Северо-Джунгарском и Каратауском золотоносных районах Казахстана.

К настоящему времени специализированные работы по их изучению в различном объеме проведены в Южно-Алтайском, Северо-Тянь-Шаньском, Западно-Калбинском и Северо-Джунгарском районах. В процессе этих работ установлено, что мелкому и тонкому золоту в этих объектах сопутствует тонкодисперсное золото в количествах, значительно превосходящих МТЗ.

• **В Южно-Алтайском районе** перспективы выявления россыпей этих типов связаны с грабенообразными впадинами, выполненными палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями (Такырский грабен, Май-Капчегайский грабен, Приреченская впадина), палеогеновыми и четвертичными масштабными конусами выноса рек Курчум, Такыр и Кальджир (участки Бурабай, прибортовая часть Зайсанской впадины). Коренными источниками золота являются месторождения и рудопроявления Южно-Алтайского золотоносного пояса, представленные золото-кварцевыми и золото-кварц-сульфидными объектами.

Наиболее изучен участок, связанный с кварцевыми галечниками турангинской и тузкабакской свит эоцена в пределах Такырского грабена. Протяженность россыпи здесь около 11 км, ширина достигает 4,5 км при мощности золотоносных отложений до 40–50 м.

Геологическое строение участка

В его западной и восточной частях значительную площадь занимают породы пугачевской свиты эйфельского яруса среднего девона (песчаники, рассланцованные алевролиты).

В составе мезозойских и кайнозойских отложений выделены позднемеловые-среднеэоценовые отложения северозайсанской свиты (K2-Pg2); эоценовые отложения турангинской свиты (Pg2tg), эоцен-олигоценовые отложения тузкабакской свиты (Pg23tz) и отложения четвертичного возраста [11].

• Отложения северозайсанской свиты (K2-Pg2) представлены пестроцветными загипсованными глинами, песками с примесью гравия, гальки и щебня. Мощность отложений достигает 200 м.

• Отложения турангинской свиты (Pg2tg) слагают значительную площадь. Разрез сложен светло-серыми, белыми и желтовато-коричневыми гравийно-галечниками и гравелитами с прослоями песков и глин. Преобладающая масса обломочного материала представлена кварцем, около 1% составляет галька других пород. Мощность отложений свиты варьирует от первых метров до 45 м. Гранулометрический состав иллюстрируется табл. 2.

В ИГН им. К.И. Сатпаева рентгенофазовым анализом изучен минеральный состав мелкообломочного материала (см. табл. 3).

Песковые фракции характеризуются преобладанием кварца (95,5–100%), мелкие — наличием полевых шпатов,

Таблица 2

Гранулометрический состав отложений турангинской свиты **Grain Size Distribution of Deposits of the Turangin Formation**

Класс крупности, мм	+60	-60 +40	-40 +20	-20 +10	-10 +5	-5 +2	-2 +1	-1 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,1	-0,1 +0,044	-0,044	Всего
Выход, %	4,1	9,26	15,29	18,18	8,68	10,25	12,23	8,02	5,45	2,64	2,81	3,06	99,97

Таблица 3

Минеральный состав мелких классов крупности отложений турангинской свиты по данным дифрактометрии
Mineral Composition of Fine Size Fractions of the Turangin Formation Deposits Based on Diffractometry Data

Класс крупности, мм	Минералы, %					
	кварц	КПШ	альбит	каолинит	слюда	кальцит
–2+1	100	—	—	—	—	—
–0,25+0,1	98,0	2,0	—	—	—	—
–0,1+0,044	95,5	3,0	1,4	—	—	—
–0,044	52,4	3,7	8,4	25,3	8,2	1,9

Таблица 4

Химический состав мелких фракций отложений турангинской свиты
Chemical Composition of Fine Fractions of the Turangin Formation Deposits

Класс крупности, мм	Компоненты, %								Итог
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	FeO	
–2+1	98,09	0,34						1,57	100
–0,25+0,1	93,24	2,96		1,82			0,42	1,56	100
–0,1+0,044	93,96	2,63		1,76	0,56			1,10	100
–0,044	71,04	18,52	0,42	3,15	1,34	1,08	0,94	3,51	100

Таблица 5

Гранулометрический состав галечников тузкабакской свиты
Grain Size Distribution of Pebbles of the Tuzkabaq Formation

Класс, мм	Среднее, (%)	Класс, мм	Среднее, (%)
–150+80	0,67	–1+0,5	7,26
–80+40	3,92	–0,5+0,2	4,7
–40+20	10,43	–0,2+0,1	2,13
–20+10	16,78	–0,1+0,074	1,2
–10+5	14,45	–0,074+0,044	3,87
–5+2	12,45	–0,044	16,8
–2+1	7,85	—	—

каолинита и кальцита. Химический состав (табл. 4) соответствует минеральному.

- Отложения тузкабакской свиты (Pg23tz) перекрывают выше описанные. Толща сложена кирпично-коричневыми, буро-коричневыми запесоченными глинами с незначительным количеством щебня и гравия, а также галечниками, гравийно-галечниками и песками красного, оранжевого и палевого цветов,

глинистые и галечные части разреза фациально замещают друг друга. Россыпная золотоносность связана с галечными частями свиты.

Гранулометрические характеристики галечников тузкабакской свиты приведены в табл. 5.

Петрографический состав обломочного материала практически идентичен во всех фракциях. Он представлен молочно-белым кварцем, серовато-голубы-

Таблица 6

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа материала класса –0,1 мм
Results of Semi-Quantitative X-Ray Diffraction Analysis of the –0.1 mm Size Fraction Material

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Кварц	SiO_2	42,6
Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	26,3
Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	9,0
Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	7,9
Ортоклаз	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	5,3
Каолинит	$\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$	8,9

ми кварцитами. Галька часто покрыта корками карбонатного состава, в разрезе наблюдаются карбонатные «желваки».

Минеральный состав тонкозернистого материала определен рентгенодифрактометрическим методом в ИГН имени К.И. Сатпаева (табл. 6). Главными минералами являются кварц (42,6%) и кальцит (26,3%).

Химический состав песков определялся по илистой фракции (–0,1мм). По химическому составу илистый материал алюмо-кальциево-силикатный (табл. 7).

Для отложений обеих свит характерно наличие органического углерода в количестве от 1,35 до 12%. Образование органики обусловлено накоплением тол-

щи осадков в открытом водоеме в условиях тропического палеоклимата с интенсивно развитым биоценозом [11].

В составе четвертичных отложений выделены аллювиальные, аллювиально-пролювиальные и пролювиальные генетические типы.

Магматические породы представлены девонскими гипербазитами, раннекаменноугольными интрузивными и субвулканическими образованиями приртышского комплекса и гранитоидами кунушского и калбинского комплексов, они развиты в обрамлении грабена.

Результаты минералогических исследований

Золотоносен весь разрез отложений эоцена, мощность которых достигает

Таблица 7

Химический состав илистой фракции (–0,1мм)
Chemical Composition of the Clay Fraction (–0.1 mm)

Спектр	Элементы, вес. %									
	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Итог
Спектр 1	54,50	0,55	1,39	6,80	19,15	1,98	11,97	0,26	3,42	100,0
Спектр 2	54,30	0,45	1,42	6,94	20,09	2,39	10,52	0,33	3,56	100,0
Спектр 3	53,77	0,60	1,64	7,31	19,91	2,35	10,12	0,37	3,93	100,0
Среднее	54,19	0,53	1,48	7,02	19,72	2,24	10,87	0,32	3,64	100,0
Стандартное отклонение	0,38	0,08	0,14	0,27	0,50	0,23	0,97	0,06	0,27	
Максимальный	54,50	0,60	1,64	7,31	20,09	2,39	11,97	0,37	3,93	
Минимальный	53,77	0,45	1,39	6,80	19,15	1,98	10,12	0,26	3,42	

Таблица 8

Минеральные ассоциации продуктивных песков и форма нахождения золота в них
Mineral Associations of Productive Sands and the Forms of Gold Occurrence within Them

Минеральные ассоциации	Кластогенная	Новообразованные	
		гидротермальная	гипергенная
Типоморфные минералы	Самородное золото, самородное серебро, арсенопирит, самородный висмут, ильменит, циркон, рутил, гранат, шеелит, вольфрамит, редкоземельная минерализация	Золото, доломит, барит, кварц, пирит, галенит, сфалерит, редкоземельные кальциевые фосфаты, гематит	Золото, кальцит, гидрооксиды Fe и Mn, тодорокит
Форма нахождения и размеры золота	1. Свободное самородное мелких и тонких классов. 2. Свободное тонкодисперсное. 3. Связанное в породных обломках тонкодисперсное	1. Связанное в пирите. 2. Свободное тонкодисперсное	1. Связанное в кальците, гидроокислах железа, тонкодисперсное

40–50 м. Мощность пласта в среднем составляет 23 м, торфов — 0,2 м.

В результате исследований выделены кластогенная, новообразованная гидротермальная и новообразованная гипергенная минеральные ассоциации; различающиеся формой нахождения золота (табл. 8).

В составе кластогенной минеральной ассоциации, наряду со свободным са-

мородным золотом, идентифицированы самородный висмут, ильменит, циркон, вольфрамит, шеелит, самородное серебро, а также проявления редкоземельной минерализации. Данный минералогический комплекс отражает полигенную природу источников вещества и условия формирования россыпных отложений.

Самородное золото мелких и тонких фракций характеризуется преобладани-

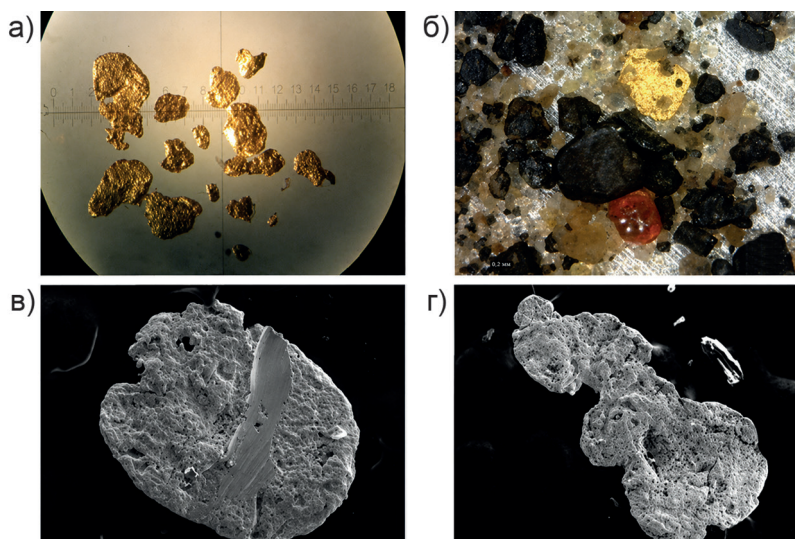


Рис. 2. Самородное золото кластогенной ассоциации (класс крупности $-0,5+0,25$ мм). Под оптическим микроскопом (а, б); в обратно-рассеянных электронах (в, г)

Fig. 2. Native gold of the clastogenic association (size fraction $-0.5+0.25$ mm). Under an optical microscope (a, b); in backscattered electrons (v, g)

ем уплощенных и пластинчатых морфологических форм с закругленными (окатанными) краями, что свидетельствует о значительной степени механической переработки в процессе транспортировки и аккумуляции. Коэффициент уплощения варьирует в пределах более 7,5–10, что подтверждает доминирование пластинчатых форм частиц.

На рис. 2 и 3 представлены морфологические особенности поверхности золотин различных классов крупности, полученные с использованием оптической микроскопии и методов электронной микроскопии в обратно-рассеянных электронах. Химический состав золотин и сопутствующих минералов определен методом рентгеноспектрального микроанализа с применением электронно-зондового микроанализатора Superprobe 733 (JEOL, Япония), что обеспечило высокую точность и воспроизводимость аналитических данных.

Золотины кластогенной ассоциации характеризуются высокой пробностью, достигающей 100%, что свидетельству-

ет о незначительном содержании примесей и высокой степени химической однородности металла.

Гидротермальные новообразования отличаются тонкозернистой структурой и уверенно диагностируются с использованием методов электронной микроскопии. Указанные исследования выполнены на базе Института геологических наук имени К.И. Сатпаева.

В результате проведенных исследований впервые выявлена минералогическая ассоциация, не характерная для типичных россыпных месторождений золота. Помимо свободного самородного золота, установлено присутствие галенита, сфалерита, барита, доломита, железосодержащих микросфер, а также кальциевых фосфатов редкоземельных элементов. Указанные минералы объединены авторами в золото-полиметаллический с баритом и доломитом, а также редкоземельный типы минерализации, что указывает на сложный генезис и многостадийность процессов рудообразования.

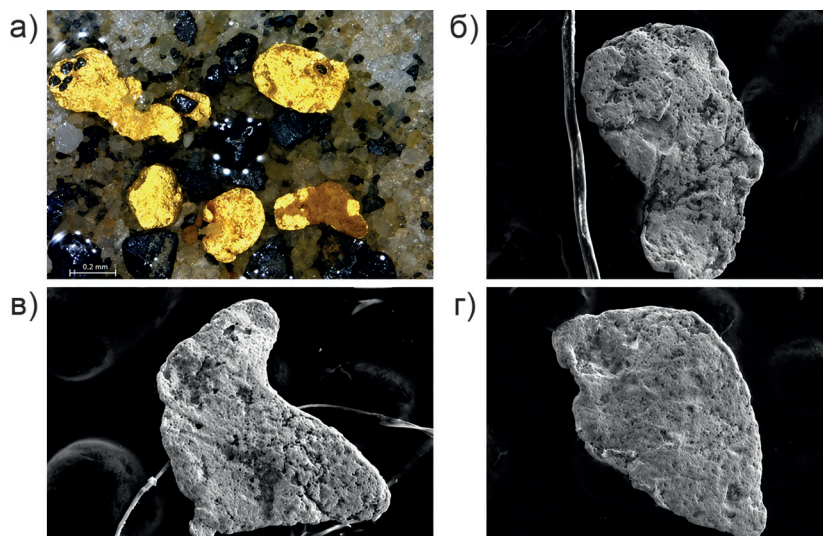


Рис. 3. Самородное золото кластогенной ассоциации (класс крупности $-0,25+0,1$ мм). Под оптическим микроскопом (а) и в обратно-рассеянных электронах (б, в, г)

Fig. 3. Native gold of the clastogenic association (size fraction $-0.25 + 0.1$ mm). Under an optical microscope (a) and in backscattered electrons (b, v, g)

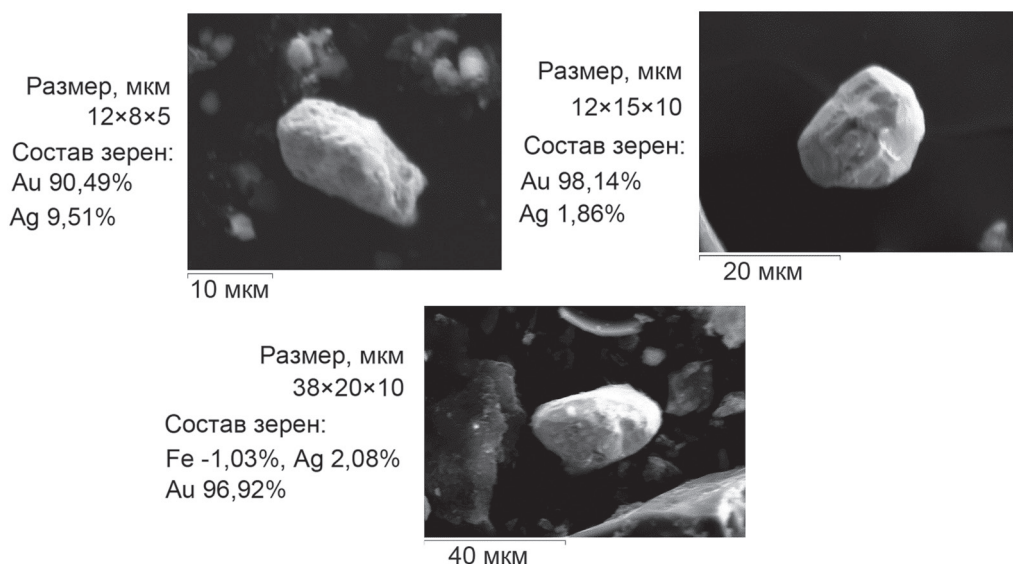


Рис. 4. Новообразованное самородное золото гидротермальной ассоциации в отраженных электронах
Fig. 4. Newly formed native gold from a hydrothermal association in the backscattered electrons

На рис. 4 представлены характерные морфологические формы золотин данной ассоциации, а также их химический состав, подтверждающий установленные типы минерализации.

Дополнительно установлено, что золотины массивного строения характеризуются угловато-округлой морфологией, их отличительным типоморфным признаком по сравнению с кластогенным золотом является устойчивое присутствие примеси серебра в диапазоне 1,8–9,5%. В ассоциации с данным типом золота выявлены барит, галенит и минералы редкоземельных элементов, что указывает на специфические условия минералообразования.

Гипергенные новообразования приурочены к прослоям кварц-каолинитово-

го состава в разрезе турангинской свиты, а также к галечниковым отложениям тузкабакской свиты. Золото в указанных образованиях представлено единичными листовидными («фольгообразными») выделениями светло-желтого цвета с характерным зеленоватым оттенком, отражающим особенности его химического состава и условий формирования. Помимо этого для галечников тузкабакской свиты характерно развитие карбонатных корок, содержащих «вторично связанное» золото. Наличие золотонности в карбонатных новообразованиях согласуется с аналогичными наблюдениями, выполненными в долине реки Итури (бассейн реки Конго), что указывает на универсальность процессов гипергенного перераспределения золота

Таблица 9

Гранулометрический состав гравитационно извлекаемого золота кластогенной ассоциации (%)

Particle size distribution of gravity-recoverable gold from the clastic association (%)

Фракции, мм	–2,0+1,0	–1,0+0,5	–0,5+0,2	–0,2+0,1	–0,1+0,044	–0,044
Выход, %	1,06	13,89	21,8	35,1	21,13	6,99

Таблица 10

Распределение золота в продуктах гравитационного обогащения
Distribution of gold in gravity concentration products

Материал	Вес, кг	Содержание Au, г/т	Вес Au, мг	Распределение Au от исходного, %
Материал класса –80+2 мм (не обогащался)	38,39	0,37	14,2	19,02
Окончательные хвосты класса –2+ 0 мм	41,861	2,01	84,161	76,11
Гравиконцентрат (класс –2+0 мм), всего	1,7693	6,9	12,214	11,04
в т.ч. извлечено в монофракцию Au	—	—	9,259	8,37
Исходная проба	82,02	1,35	110,575	100

(по сообщению В.Л. Сухорослова) [20]. Соотношение золота разных ассоциаций в россыпи. Выделенные на описываемом участке минеральные ассоциации (см. табл. 8) различаются формой нахождения, размером и технологическими особенностями золота.

Свободное самородное золото мелких и тонких классов (–0,25+0,044 мм) кластогенной ассоциации извлекается гравитационными методами с помощью центробежных аппаратов (табл. 9), его доля в общем балансе золота не превышает 10–12%.

Средняя крупность золота этих классов составляет 0,15 мм.

Количество золота в хвостах гравитационного обогащения составляет в среднем 76,11% при содержании до 2 г/т (табл. 10).

Как видно, свободное самородное золото тонкодисперсных классов, а также связанное в обломках пород, кальците и гидроокислах железа уходит в окончательные хвосты гравитационного обогащения. Наличие тонкодисперсного золота в окончательных хвостах гравитационного обогащения и размеры его зерен подтверждено сцинтилляционным анализом (табл. 11).

Для выяснения форм нахождения золота был выполнен фазовый анализ

Таблица 11

Количество и размеры частиц свободного тонкодисперсного золота в хвостах гравитационного обогащения (результат сцинтилляционного анализа)
Number and size of free fine-particle gold in gravity separation tailings (results of scintillation analysis)

Номер пробы	Сумма частиц золота, шт	Ориентировочный размер частиц золота, мкм					
		0,15–0,2	0,2–0,5	0,5–1	1–5	5–10	>10
0057	144	92	44	5	3	0	0
00105	89	67	17	5	0	0	0
00109	175	59	85	23	8	0	0
00133	160	78	55	19	8	0	0
00138	120	48	44	9	18	0	1
Сумма	688	344	245	61	37	0	1
%%	100	50	35,61	8,87	5,38	0	0,14

Таблица 12

Результаты фазового анализа материала, истертого до крупности 0,074 мм
Results of the phase analysis of the material ground to a particle size of 0.074 mm

Форма нахождения золота	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
Заклученное в сульфидах	–	–
Тонкодисперсное свободное самородное золото (цианируемое)	1,72	82,6
Видимое самородное золото (амальгамируемое)	–	–
Золото, связанное в обломочном материале	0,36	17,4
Итого: исходный материал	2,08	100%

Таблица 13

Гранулометрический состав гравитационно извлекаемого золота
Баянкольского участка

Particle size distribution of gravity-concentrated gold from the Bayankol deposit

Фракции, мм	–2+1	–1+0,5	–0,5+0,25	–0,25+0,1	–0,1+0,044	–0,044
Выход, %	17,64	8,4	10,55	44,34	10,81	8,33

на пробе, измельченной до крупности –0,074 мм, его результаты приведены в табл. 12.

• **В Северо-Тянь-Шаньском районе** большеобъемные россыпи, в которых установлено наличие свободного и связанного тонкодисперсного золота, известны в бассейнах рек Баянкол и Шалкудысу.

Таблица 14

Содержание тонкодисперсного золота в песковой фракции аллювиальных отложений участка Баянкольский
Fine-grained gold content in the sand fraction of alluvial deposits at the Bayankol site

№	Номер пробы	Содержание золота, г/т
1	1	3,45
2	2	2,53
3	3	3,55
4	4	3,72
5	5	3,98
6	6	2,36

• **Бассейн реки Баянкол.** Здесь россыпи этого типа выявлены на Каратоганском участке, в области сочленения высокогорья с межгорной Нарынкольской впадиной и внутригорной впадине, в нижней части Баянкольского участка. Вмещающие породы — аллювиальные отложения четвертичного возраста с большим количеством валунов. Коренными источниками являются золото-кварцевые и золото-кварц-сульфидные золоторудные объекты Джаркулак-Донарчинской зоны. Россыпи здесь изучены отдельными линиями буровых скважин.

Большеобъемная россыпь Баянкольского участка имеет ширину до 500 м, протяженность — 7 км. Мощность торфов от 1,2 до 1,68 м, в среднем 1,6 м; мощность песков варьирует от 9,0 до 17,0 м, в среднем 11 м. Содержание золота достигает 11 000 мг/м³, в среднем — 880 мг/м³.

Средняя крупность гравитируемого золота составляет 0,20 мм (табл. 13). Преобладает золото пластинчатых и листовидных форм.

Таблица 15

Результат фазового анализа золота Баянкольского участка
Results of the phase analysis of gold from the Bayankol site

Форма нахождения золота	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
Заключенное в сульфидах	—	—
Тонкодисперсное свободное самородное золото (цианируемое)	1,08	34,6
Видимое самородное золото (амальгамируемое)	—	—
Золото, связанное в обломочном материале	2,04	65,4
Итого: исходный материал	3,12	100%

Исследования последних лет позволили установить наличие тонкодисперсного золота, содержание которого в песковой фракции достигает 3,98 г/т (табл. 14).

Фазовым анализом установлены следующие формы нахождения золота (табл. 15).

- *Бассейн реки Шалкудысу.* Здесь россыпи локализованы в аллювиальных четвертичных отложениях, коренными источниками золота являются золото-кварц-сульфидные рудопроявления Южно-Кетменского золотоносного узла [12].

В результате разведочных работ в рыхлых отложениях выявлено две формы нахождения золота: 1 — свободное самородное («кластогенное») разных классов крупности, в том числе МТЗ; 2 — связанное, заключенное в облом-

ках пород и рудных минералах в виде тонкодисперсной вкрапленности.

В процессе гравитационного обогащения было установлено, что извлечение золота в гравитационный концентрат колеблется от 15,8 до 25,4%, в хвосты же уходит от 74,8 до 83,7% общего золота. Выполнен выборочный атомно-абсорбционный анализ серого шлиха после извлечения свободного золота под бинокляром. Установлено, что связанное золото в материале серого шлиха присутствует в следующих количествах (табл. 16).

Таким образом, связанное тонкодисперсное золото присутствует во всех пробах во фракции –0,5+0 мм и составляет от 29,47% до 85,14% от общего золота при содержании, достигающем 1,88 г/т.

Таблица 16

Содержание связанного золота в материале серого шлиха
Gold content in the gray tailings

Номера проб	Место отбора проб	Содержание золота, г/т
1	III надпойменная левобережная терраса реки Кетмень	0,12
2	III надпойменная правобережная терраса реки Западная Аршалы	1,48
3	III надпойменная правобережная терраса реки Западная Аршалы	0,78
4	Долина реки Шалкудысу	1,32
5	Долина реки Шалкудысу	0,84
6	Долина реки Шалкудысу	1,88

Таблица 17

Гранулометрический состав гравитируемого золота в «сарыбулакском» аллювии
Particle size distribution of gold recovered by gravity separation in the Sarybulak alluvium

Фракции, мм	–2+1	–1+0,5	–0,5+0,25	–0,25 +0,1	–0,1+0,044	–0,044
Выход, %	4,3	14,8	6,9	12,6	46,4	15,96

В Западно-Калбинском районе перспективы выявления большеобъемных россыпей с ТДЗ связаны с внутригорными впадинами, приуроченными к узлам сочленения древних золотоносных долин и с участками Жолдыбайского грабена на отрезках его пересечения древними долинами золотоносных рек [13]. Коренными источниками золота здесь являются разномасштабные объекты Западно-Калбинского золотоносного пояса.

Внутригорные впадины, выполненные раннеплиоценовыми аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и аллювиально-озерными отложениями, располагаются в бассейнах рек Чар, Агыныкатты, Былкылдак и Батпак-Булак.

Одна из них, приуроченная к узлу сочленения древних золотоносных долин рек Чар, Балажал и Агыныкатты, выполнена аллювием раннеплиоценового возраста: галечниками, глинами и песками мощностью до 30 м. Предшествующими исследователями (А.И. Демченко и др.) здесь отмечена «растянутая» по разрезу золотоносность с небольшим (от «знаков» до 100 мг/м³) содержанием золота. Лишь в отдельных пробах отмечены более высокие (до 2000 мг/м³) содержания. Количество золота фракции «–0,1 мм» этими исследователями не оценивалось.

При обработке проб с использованием гидроконцентратора, проведенных авторами, обнаружено большое количество мелкого и тонкого золота, преобладающая часть которого покрыта рубашкой марганцевых и железистых минералов [14]. Верхняя часть разреза

(в интервале 0 – 17 м) сложена хорошо окатанными аллювиальными валунно-галечниками «сарыбулакских слоев» [11] раннеплиоценового возраста с супесчаным оранжево-желтым, желто-серым заполнителем. В составе обломочного материала отмечены кварц (до 20 – 25%), а также песчаники и алевролиты. Россыпной золотоносностью характеризуется весь разрез плиоценового аллювия, причем преобладает мелкое и тонкое пластинчатое и листовидное золото (табл. 17). Золотины покрыты рубашкой марганцевых и железистых минералов, в отдельных случаях полностью.

Совместно с золотом в гравитационном концентрате установлены пирит, халькопирит, арсенопирит, магнетит, ильменит, циркон, рутил, турмалин, эпидот.

Нижняя часть разреза сложена галечниками с песчано-глинистым заполнителем серого цвета с синеватым оттенком. На основании представлений В.С. Ерофеева [11] они отнесены к ашутасской свите палеоцена. Обломочный материал представлен кварцем, интенсивно сульфидизированными (пирит, марказит) хлорит-серицитовыми породами.

Марказит образует кристаллические агрегаты и их обломки с тонкошестоватым и радиально-лучистым строением. Размер отдельных агрегатов от 20 мкм до 1 мм. Большая часть выделений являются новообразованными. Пирит представлен октаэдрическими кристаллами и их сростками. Размер зерен от 70 до 100 мкм.

Пробирным анализом в материале класса крупности –7+2 мм (36% от веса пробы) содержание золота составляет

2,0 г/т; в классе крупности $-40+7$ мм (12,6%) – 2,4 г/т.

При гравитационном обогащении класса « -2 мм» получен концентрат, сложенный марказитом и пиритом, содержащими свободное самородное золото. Золотины имеют пластинчатую (30%), изометричную (25%) и угловато-комковидную форму (45%). Средний размер золотин – $43 \times 89 \times 138$ мкм, минимальный – $7 \times 14 \times 28$ мкм, максимальный – $42 \times 252 \times 280$ мкм. Среднее содержание золота в материале класса -2 мм составляет 1,0 г/т; содержание золота в гравитационном сульфидном концентрате – 2,2 г/т.

В Северо-Джунгарском районе перспективы выявления большеобъемных россыпей связаны с масштабными конусами выноса рек Тентек, Жаманты и Ыргайты, развитыми на северных склонах хребта вдоль зоны Северо-Джунгарского глубинного разлома и внутригорными грабенообразными впадинами (Тункурузской и Колпаковской), выполненными палеогеновыми и неогеновыми отложениями мощностью до 353 м.

Золотой потенциал описанных участков. Предварительно оцененные прогнозные ресурсы описанных объектов составляют более полутора тысяч тонн золота.

Технология промышленной отработки и переработки золотоносного материала

Рассматриваемые объекты, приуроченные к пластообразным залежам в рыхлых нелитифицированных отложениях, характеризуются благоприятными горно-геологическими условиями для освоения и могут эффективно разрабатываться открытым способом с применением прямой экскавации без использования буровзрывных работ. Данный подход обеспечивает снижение производственных затрат, минимизацию тех-

ногенного воздействия на окружающую среду и повышение технологической управляемости процесса добычи.

С учетом вещественного состава и форм нахождения золота извлечение ТДЗ, как находящегося в свободном состоянии, так и связанного в породной матрице, целесообразно осуществлять методом чанового выщелачивания. Применение данной технологии позволяет обеспечить эффективное извлечение золота из труднообогатимых тонкодисперсных форм за счет интенсивного взаимодействия реагентов с минеральной матрицей.

Результаты лабораторных исследований демонстрируют высокую степень извлечения золота, достигающую 70–96%, что свидетельствует о технологической перспективности и промышленной применимости предложенных решений. Полученные показатели подтверждают возможность вовлечения в переработку ранее трудноизвлекаемых ресурсов и обосновывают целесообразность дальнейшей разработки и оптимизации технологических схем переработки золотоносного материала данного типа.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено наличие и широкое распространение тонкодисперсного золота в россыпных месторождениях Республики Казахстан, а также выделены перспективные участки, благоприятные для его аккумуляции. Полученные данные подтверждают значительный, ранее недоучитываемый потенциал тонкодисперсных форм золота в структуре минерально-сырьевой базы страны.

Показано, что тонкодисперсное золото представлено различными формами нахождения и ассоциировано с рядом минералогических комплексов, что обуславливает необходимость его комп-

лексного учета при геолого-экономической оценке золотоносных объектов и выборе рациональных технологий переработки. Результаты исследований свидетельствуют о возможности эффективного извлечения тонкодисперсного золота при применении современных гидрометаллургических методов, что открывает перспективы промышленного освоения ранее трудноизвлекаемых ресурсов.

Таким образом, вовлечение тонкодисперсного золота в оценку золотого потенциала и его извлечение при отработке месторождений способны обеспечить существенное увеличение балансовых запасов золота, повышение эффективности использования минерально-сырьевой базы, а также способствовать укреплению золотовалютных резервов Республики Казахстан. Полученные результаты формируют научно-методическую основу для дальнейших исследований, направленных на разработку и оптимизацию технологий освоения тонкодисперсного золота.

Научная новизна. Новизна данного исследования заключается в том, что в результате работ, основные результаты которых изложены в данной статье, впервые установлено наличие и значительная распространенность тонкодисперсного золота в россыпях Казахстана, выделены перспективные участки и оценены их прогнозные ресурсы.

Впервые произведены специализированные исследования по выявлению тонкодисперсного золота в россыпях, изучению его типоморфных особенностей, форм нахождения и перспектив расширения золотого потенциала при вовлечении в отработку.

Теоретический вклад. Тонкодисперсное золото характеризуется рядом особенностей, в связи с чем условия его нахождения в россыпях существенно отличаются от золота более крупных фракций. При образовании россыпей

тонкодисперсное золото переносится в виде самородного золота тонкодисперсных фракций; в виде растворов с осаждением на неких химических и иных барьерах, а также в виде золота, связанного с обломочным материалом.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что россыпи с МТЗ и ТДЗ образуются в пространственной связи с долинными россыпями в границах золотоносных узлов. Они локализованы в неотектонических впадинах и связаны с аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, озерно-аллювиальными и озерными отложениями, выполняющими впадины. Они характеризуются конседиментационным характером формирования многочисленных, этажно расположенных золотоносных пластов, не выдержанных по ширине, простиранию и мощности, и огромными объемами песков. В них развито мелкое и тонкое пластинчатое золото, а также тонкодисперсное золото, причем последнее составляет более половины запасов.

Особенности изученных объектов: пространственное совмещение мелкого тонкого золота и тонкодисперсного золота делает необходимым комплексное использование как аналитических методик «традиционной» геологии россыпей, так и методик, используемых при изучении рудных объектов.

Ограничение исследования. Физические свойства тонкодисперсного золота принципиально отличаются от свойств золота более крупных размеров, что обусловлено «размерным эффектом». Следствием этого является недостоверность результатов аналитических исследований, проводимых традиционными атомно-абсорбционным и пробирным методами, причиной чего являются необычные свойства субмикронного золота, делающие его летучим при обжиге и «невидимым» при анализе рудных проб. В связи с этим одним из основных

вопросов при оценке тонкодисперсного золота (как в россыпных, так и в коренных месторождениях) является проблема достоверности результатов аналитических исследований.

Будущие направления исследований. В результате проведенных работ выделены участки, перспективные для формирования россыпей с тонкодисперсным золотом, расположенные в Южно-Алтайском, Западно-Калбинском, Северо-Тянь-Шаньском и Северо-Джунгарском золотоносных районах Казахстана. На отдельных участках проведены специализированные работы по их изучению,

основные результаты которых изложены в данной статье.

Основные задачи исследований тонкодисперсного золота в россыпных месторождениях заключаются, во-первых, в разработке методики аналитических исследований, учитывающей специфические физические свойства тонкодисперсного золота и позволяющей производить его достоверную оценку; во-вторых, в проведении на слабо изученных участках комплекса геолого-разведочных работ, целенаправленно ориентированных на оценку тонкодисперсного золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьячков Б. А. Национальный доклад по науке «О состоянии и тенденциях развития мировой и отечественной науки за 2009 год», Т. 6. Геология и минералогия // Известия НАН РК. Серия геологическая. — 2011. — № 1. — С. 4–23.
2. Begalinov A., Peregudov V., Tretyakov A., Shautenov M., Almenov T., Bektur B., Sakhipova K. Polygenic gold mineralization in quartz-pebble formations on the Takyр-Kaljir site of the Southern Altai, East Kazakhstan Region // Mining of Mineral Deposits. 2023, vol. 17, no. 3, pp. 32–41. DOI: 10.33271/mining17.03.032.
3. Федотов П. К., Сенченко А. Е., Федотов К. В., Бурдонов А. Е. Исследования обогатимости сульфидных и окисленных руд золоторудных месторождений Алданского щита // Записки Горного института. — 2020. — Т. 242. — С. 218–227. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.218.
4. Бегалинов А. Б., Шаутинов М. Р., Перегудов В. В., Третьяков А. В., Кургузкин Е. В. Новый тип золотой минерализации в галечных образованиях россыпей / Материалы XXVI национальной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». — Екатеринбург, 2021. — С. 41–46.
5. Шилов Н. Л. Учение о россыпях. Теория россыпообразующих рудных формаций и россыпей. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 576 с.
6. Bekenova G. K., Peregudov V. V., Levin V. L., Kanatbaev Y. T., Muratkhanov D. B. Gold and rare earth elements in enrichment products from the technogenic wastes of the Caspian Mining-Metallurgical Plant (Aktau, Kazakhstan) // Complex Use of Mineral Resources. 2024, vol. 328, no. 1, pp. 76–87. DOI: 10.31643/2024/6445.09.
7. Осовецкий Б. М. Природное нанозолото. — Пермь, 2013. — 176 с.
8. Полеванов В. П. Крупные золотороссыпные провинции и их роль в мировой золотодобыче. — М., 1990. — 88 с.
9. Амосов Р. А., Парий А. С., Долбня О. В. Новые данные о минеральном составе и обогатимости песков погребенной россыпи Большой Кураны // Горный журнал. — 2002. — № 2. — С. 33–37.
10. Желнин С. Г. Особенности россыпной золотоносности Центрально-Алданского района // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. — 1970. — Вып. XVII. — С. 80–87.
11. Патык-Кара Н. Г. Многопластовые россыпи приразломных впадин // Россыпные месторождения России и стран СНГ. — М., 1997. — С. 92–98.
12. Матвеева Е. В. Аллювиальные россыпи долин-грабен с мелким и тонким золотом // Россыпные месторождения России и СНГ. — М., 1997. — С. 45–49.

13. Ерофеев В. С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. — Алма-Ата, 1969. — 165 с.
14. Третьяков А. В., Перегудов В. В., Гилев Ю. Н., Мамонов Е. П. Формы нахождения золота в песках россыпей бассейна р. Шалкудысу (Южный Казахстан) // Геология и охрана недр. — 2011. — № 1(38). — С. 35 — 39.
15. Junussov M., Kembayev M. K., Baisalova A., Kokkuzova M., Mamanov Ye., Mekenbek G., Cherkeshova S. Geochemical controls on invisible gold fixation in arsenian pyrite: Evidence from the Western Mecsek and Bakyrchik deposits // *Acta Geochimica*, 2026. DOI: 10.1007/s11631-026-00864-4.
16. Junussov M., Mustapayeva S. Preliminary XRF analysis of coal ash from Jurassic and Carboniferous coals at five Kazakh mines: Industrial and environmental comparisons // *Applied Sciences*. 2024, vol. 14, no. 22, article 10586. DOI: 10.3390/app142210586.
17. Kovalev K. R., Kalinin Y. A., Naumov E. A., Myagkaya M. K. Relationship of antimony with gold mineralization in the ore districts of Eastern Kazakhstan // *Russian Geology and Geophysics*. 2014, vol. 55, no. 10, pp. 1170 — 1182. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.09.003.
18. Liu Y. H., Ng W. S., Chen M. Optimization of arsenic fixation in the pressure oxidation of arsenopyrite using response surface methodology // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2024, vol. 45, no. 2, pp. 101 — 113. DOI: 10.1080/08827508.2022.2127703.
19. Tolstykh N., Bortnikov N., Zhukova I., Stepanov A., Palyanova G., Shapovalova M., Zhao K. D. Trace elements in pyrite from Au — Ag epithermal deposits of Kamchatka, Russia: Comparison with geochemical features of mineral systems // *Journal of Geochemical Exploration*. 2025, vol. 275, article 107774. DOI: 10.1016/j.gexplo.2025.107774.
20. Behera R. C., Singh S., Barla A., Kumar K. S. V., Reddy N. R., Dash M. Invisible gold mineralization within the Vempalle Dolostone, Joolakalva Area, Cuddapah Basin, Southern India: Insights from in-situ and whole-rock geochemistry // *Lithos*. 2026, vol. 528 — 529, article 108462. DOI: 10.1016/j.lithos.2026.108462.
21. Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Наумов Е. А., Мягкая М. К. Сурьмяная минерализация на золоторудных месторождениях Восточного Казахстана / Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений. — М.: ИГЕМ РАН, 2013. — С. 39 — 40.
22. Данильченко Д. Г., Секисов Г. В. Глубокозалегающие россыпи Дальневосточного региона России как современные объекты открытой разработки / Труды ИГД ДВО РАН. — Хабаровск, 2010. — С. 47 — 53. **ПЛАБ**

REFERENCES

1. Dyachkov B. A. National Report on Science «On the State and Trends in the Development of World and Domestic Science in 2009», Vol. 6: Geology and Mineralogy. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology*. 2011, no. 1, pp. 4 — 23. [In Russ].
2. Begalinov A., Peregudov V., Tretyakov A., Shautenov M., Almenov T., Bektur B., Sakhipova K. Polygenic gold mineralization in quartz-pebble formations on the Takyr-Kaljir site of the Southern Altai, East Kazakhstan Region. *Mining of Mineral Deposits*. 2023, vol. 17, no. 3, pp. 32 — 41. DOI: 10.33271/mining17.03.032.
3. Fedotov P. K., Senchenko A. E., Fedotov K. V., Burdonov A. E. Beneficiation studies of sulfide and oxidized ores from gold deposits of the Aldan Shield. *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 242, pp. 218 — 227. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.218.
4. Begalinov A. B., Shautenov M. R., Peregudov V. V., Tretyakov A. V., Kurguzkin E. V. A new type of gold mineralization in pebble formations of placers. *Materialy XXVI natsional'noy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya»* [Proceedings of the XXVI National Scientific and Technical Conference «Scientific Foundations and Practice of Ore and Technogenic Raw Materials Processing»], Ekaterinburg, 2021, pp. 41 — 46. [In Russ].
5. Shilo N. L. *Uchenie o rosspyakh. Teoriya rossypoobrazuyushchikh rudnykh formatsiy i rossypey* [Doctrine of placers. Theory of placer-forming ore formations and placers], Vladivostok, Dal'nauka, 2002, 576 p.
6. Bekenova G. K., Peregudov V. V., Levin V. L., Kanatbaev Y. T., Muratkhanov D. B. Gold and rare earth elements in enrichment products from the technogenic wastes of the Caspian Mining-Metallurgi-

cal Plant (Aktau, Kazakhstan). *Complex Use of Mineral Resources*. 2024, vol. 328, no. 1, pp. 76–87. DOI: 10.31643/2024/6445.09.

7. Osovetskiy B. M. *Prirodnoe nanozoloto* [Natural nanogold], Perm, 2013, 176 p.
8. Polevanov V. P. *Kрупные золотороссыпные провинции и их роль в мировой золотодобыче* [Large gold-placer provinces and their role in world gold mining], Moscow, 1990, 88 p.
9. Amosov R. A., Pariy A. S., Dolbnya O. V. New data on mineral composition and beneficiation of sands from the buried Bolshoy Kuranakh placer. *Gornyi Zhurnal*. 2002, no. 2, pp. 33–37. [In Russ].
10. Zhelnin S. G. Features of placer gold mineralization in the Central Aldan region. *Materials on Geology and Mineral Resources of the Yakut ASSR*. 1970, issue XVII, pp. 80–87. [In Russ].
11. Patyk-Kara N. G. *Mnogoplastovye rossypi prirazlomnykh vpadin. Rossypnye mestorozhdeniya Rossii i stran SNG* [Multilayer placers of fault-bounded depressions. Placer Deposits of Russia and CIS Countries], Moscow, 1997, pp. 92–98.
12. Matveeva E. V. *Allyuvial'nye rossypi dolin-grabenov s melkim i tonkim zolotom. Rossypnye mestorozhdeniya Rossii i SNG* [Alluvial placers of graben valleys with fine and thin gold. Placer Deposits of Russia and CIS Countries], Moscow, 1997, pp. 45–49.
13. Erofeev V. S. *Geologicheskaya istoriya yuzhnoy periferii Altaya v paleogene i neogene* [Geological history of the southern periphery of Altai in the paleogene and neogene], Alma-Ata, 1969, 165 p.
14. Tretyakov A. V., Peregudov V. V., Gilev Yu. N., Mamonov E. P. Forms of gold occurrence in placer sands of the Shalkudysy River basin (Southern Kazakhstan). *Geology and Subsoil Protection*. 2011, no. 1(38), pp. 35–39. [In Russ].
15. Junussov M., Kembayev M. K., Baisalova A., Kokkuzova M., Mamonov Ye., Mekenbek G., Cherkeshova S. Geochemical controls on invisible gold fixation in arsenian pyrite: Evidence from the Western Mecsek and Bakyrchik deposits. *Acta Geochimica*, 2026. DOI: 10.1007/s11631-026-00864-4.
16. Junussov M., Mustapayeva S. Preliminary XRF analysis of coal ash from Jurassic and Carboniferous coals at five Kazakh mines: Industrial and environmental comparisons. *Applied Sciences*. 2024, vol. 14, no. 22, article 10586. DOI: 10.3390/app142210586.
17. Kovalev K. R., Kalinin Y. A., Naumov E. A., Myagkaya M. K. Relationship of antimony with gold mineralization in the ore districts of Eastern Kazakhstan. *Russian Geology and Geophysics*. 2014, vol. 55, no. 10, pp. 1170–1182. DOI: 10.1016/j.rgg.2014.09.003.
18. Liu Y. H., Ng W. S., Chen M. Optimization of arsenic fixation in the pressure oxidation of arsenopyrite using response surface methodology. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2024, vol. 45, no. 2, pp. 101–113. DOI: 10.1080/08827508.2022.2127703.
19. Tolstykh N., Bortnikov N., Zhukova I., Stepanov A., Palyanova G., Shapovalova M., Zhao K. D. Trace elements in pyrite from Au–Ag epithermal deposits of Kamchatka, Russia: Comparison with geochemical features of mineral systems. *Journal of Geochemical Exploration*. 2025, vol. 275, article 107774. DOI: 10.1016/j.gexplo.2025.107774.
20. Behera R. C., Singh S., Barla A., Kumar K. S. V., Reddy N. R., Dash M. Invisible gold mineralization within the Vempalle Dolostone, Joolakalva Area, Cuddapah Basin, Southern India: Insights from in-situ and whole-rock geochemistry. *Lithos*. 2026, vol. 528–529, article 108462. DOI: 10.1016/j.lithos.2026.108462.
21. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Naumov E. A., Myagkaya M. K. Antimony mineralization at gold ore deposits of Eastern Kazakhstan. *Rudoobrazuyushchie protsessy: ot geneticheskikh kontseptsiy k prognozu i otkrytiyu novykh rudnykh provintsiy i mestorozhdeniy* [Ore-forming processes: From genetic concepts to forecasting and discovery of new ore provinces and deposits], Moscow, 2013, pp. 39–40.
22. Danilchenko D. G., Sekisov G. V. Deep-seated placers of the Far Eastern region of Russia as modern objects of open-pit mining. *Trudy IGD DVO RAN* [Proceedings of the Mining Institute of the Far Eastern Branch of RAS], Khabarovsk, 2010, pp. 47–53. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шаутинов Мельс Рахимович*¹ — канд. техн. наук, профессор,
e-mail: shautenov_m@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0266-3882,
Третьяков Александр Валентинович — д-р геол.-минерал. наук,
главный научный сотрудник, ТОО «Институт геологических наук
имени К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан,
e-mail: alextret_1210@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5286-2823,

Алменов Талгат Макулбекович¹ — канд. техн. наук,
профессор, e-mail: almen_t@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9674-8598,

Перегудов Валерий Васильевич — инженер-геолог,
директор, ТОО КРИЦ-НТК, Степногорск, Казахстан,
e-mail: pereval1946@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6173-1374,

Асылханова Самал Асылханқызы¹ — магистр технических наук,
докторант 2 курса, e-mail: asylkhanovas@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2385-161X,

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева (Satbaev University), Алматы, Казахстан.

Для контактов: Алменов Т.М., e-mail: almen_t@mail.ru,
Асылханова С.А., e-mail: asylkhanovas@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.R. Shautenov¹, Cand. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: shautenov_m@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0266-3882,

A.V. Tretyakov, Dr. Sci. (Geol. Mineral.),
Chief Researcher, e-mail: alextret_1210@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-5286-2823,

T.M. Almenov¹, Cand. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: almen_t@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-9674-8598,

V.V. Peregudov, Geological Engineer, Director,
LLP «KRITS-NTK», Stepnogorsk, Kazakhstan,
e-mail: pereval1946@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6173-1374,
S.A. Assylkhanova¹, Master of Technical Sciences,
2nd-year Doctoral Student, e-mail: asylkhanovas@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2385-161X,

¹ K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University
(Satbayev University), Almaty, Kazakhstan.

Corresponding author: T.M. Almenov, e-mail: almen_t@mail.ru,
S.A. Assylkhanova, e-mail: asylkhanovas@mail.ru.

Получена редакцией 03.05.2026; получена после рецензии 03.06.2026; принята к печати 10.08.2026.
Received by the editors 03.05.2026; received after the review 03.06.2026; accepted for printing 10.08.2026.

