

УДК 553.07

М. Мизерная<sup>1</sup>, канд. геол. наук, доц.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

Б. Дьячков<sup>1</sup>, д-р геол.-минералог. наук, акад. проф., НАН РК

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

А. Мирошникова<sup>2</sup>, докторант PhD.

anastasiya-2588@mail.ru,

А. Мизерный<sup>1</sup>, докторант PhD.

vostokprom@bk.ru,

Г. Оразбекова<sup>1</sup>, докторант PhD.

orazbekova@bk.ru

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева  
ул. Серикбаева, 19, г. Усть-Каменогорск, 070004, Казахстан<sup>2</sup>Филиал РГП "НЦ КПМС РК" "ВНИИцветмет"

Ул. Промышленная, 1, г. Усть-Каменогорск, 070002, Казахстан

## КРУПНЫЕ СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВЫЕ ШТОКВЕРКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА КАЗАХСТАНА – УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. В. М. Загнітком)*

*Целью данных исследований является выявление закономерностей распределения золоторудной минерализации и сопутствующих элементов в золотоносных штокверках крупных месторождений золото-сульфидно-кварцевого типа Северного и Восточного Казахстана, определение геолого-структурной позиции рудных штокверков.*

*Методика исследований заключалась в проведении полевых работ в пределах Васильковского рудного поля в северном Казахстане и Секисовского рудного поля в Восточном Казахстане. Был выполнен отбор проб из рудоемещающих магматитов и рудных тел для определения химического состава и выявления закономерностей распределения основных рудных минералов и примесей. Проведены микрозондовый анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6390LV с энергодисперсионной приставкой и сравнительная характеристика рудной минерализации изучаемых месторождений.*

*Результаты выполненных исследований и сравнительный анализ данных по другим регионам мира показывают, что крупные штокверковые золото-сульфидно-кварцевые с теллуридами и висмутсодержащими рудами месторождения Васильковское и Секисовское сформировались в период высокой тектонической активности земной коры, в пределах региональных геологических структур коллизионного типа, в процессе ритмично-пульсационного сдвижения и подворота литосферных плит и блоков. Положение рудных штокверков контролируется системами корово-магниевых глубинных разломов, надиговыми структурами и гипабиссальными интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитовой серии. Рудообразование связано с интенсивными процессами тектонического дробления и гидротермально-метасоматического преобразования вмещающих пород, проявляющееся в микроклинизации, альбитизации, пропилитизации, березитизации и окарецизации, а также привносе рудных минералов. Рудные тела характеризуются Au-Ag-Bi-Te специализацией. Золото двух типов: свободное и связанное с сульфидами, вертикальный диапазон распределения оруденения значительный (более 500–800 м). Связанное золото месторождения Васильковское локализуется в арсенопиритах, на Секисовском месторождении золоторудная минерализация связана с пиритами нескольких генераций.*

*Выявлена широкое развитие сложных соединений золота и серебра с теллуром – месторождение Секисовское, с теллуром и висмутом в рудах Васильковского месторождения.*

*Комплексность руд предполагает постановку задачи разностороннего учета основных и попутных компонентов при проведении всех стадий работ: начиная с геолого-оценочных до эксплуатационной разведки. Современные технологии обогащения, новейшие способы разработки позволяют сейчас отнести эти месторождения к объектам первоочередного промышленного освоения. Их изучение имеет научное значение в вопросах эндогенного рудообразования и создает предпосылки выявления новых перспективных площадей и месторождений как в Казахстане, так и в других регионах мира.*

**Ключевые слова:** месторождение золота, интрузия, штокверк, теллуриды, висмут, Казахстан.

**Введение.** Территория Казахстана – это уникальный геологический полигон в структуре Центрально-Азиатского подвижного пояса, в котором за длительную геологическую историю сформировались многие промышленные месторождения черных, цветных, благородных, редких металлов и других полезных ископаемых. На их базе развита мощная промышленная инфраструктура – горнодобывающие и металлургические комбинаты и заводы, работают многие частные компании и предприятия. Созданная за многие десятилетия поколениями геологов и горняков минерально-сырьевая база по-прежнему является основой экономики Казахстана. Однако в настоящее время в связи с истощением запасов отрабатываемых рудных объектов возникла острая необходимость открытия новых месторождений меди, свинца, золота, tantalа и других металлов с целью обеспечения сырьем действующих предприятий горно-металлургического комплекса.

Особое значение имеет изучение закономерностей формирования и размещения крупномасштабных месторождений золота – стратегического вида полезных ископаемых Казахстана [2, 4]. В статье приводятся новые данные по геологическим условиям формирования и вещественному составу руд Васильковского и Секисов-

ского золоторудных месторождений для возможного использования этих результатов в практике прогнозно-поисковых и разведочных работ.

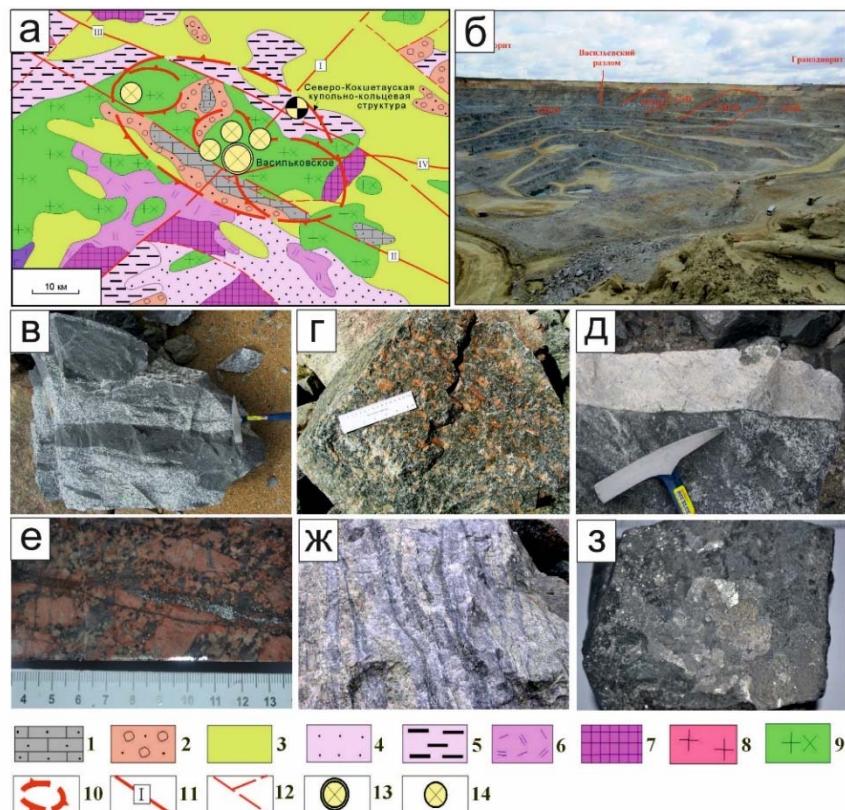
### **Особенности рудообразования в пределах Васильковского рудного поля**

Васильковское месторождение расположено в Северном Казахстане в пределах западной части Шатской металлогенической зоны. Пространственно приурочено к метаморфическому фундаменту протерозоя, прорванному габбро-гранитоидными интрузиями зерендинского комплекса O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>. Здесь также проявлены углеродисто-терригенно-карбонатные породы верхнего рифея-венда (шарыкская свита) и терригенные отложения среднего и верхнего ордовика (рис. 1, а).

Главная закономерность заключается в формировании месторождения в среднюю стадию кaledонского цикла тектогенеза, в коллизионной геодинамической обстановке, сопровождавшейся активизацией системы глубинных разломов, интенсивными процессами тектонического и гидротермально-метасоматического преобразования интрузивных пород и проявлением многостадийной золото-сульфидно-кварцевой минерализации штокверкового типа.

В геолого-структурном плане месторождение локализуется в Северо-Кокшетауской купольно-кольцевой структуре, сформированной в узле пересечения региональных разломов северо-западного, северо-восточного и широтного (Широтный) направлений. В результате коллизионного сжатия и активизации разрывной тектоники вме-

щающие породы подверглись надвигово-блочным перемещениям, рассланцеванию и брекчированию, а месторождение приобрело каркасно-блочное строение [3]. Тектонические изменения пород четко проявлены в карьере месторождения в виде разрывной трещиноватости, брекчирования, сводового поднятия и плоскостей с зеркалами скольжения и милонитизации (рис. 1, б).



**Рис. 1 Васильковское золото-сульфидно-кварцевое месторождение:**

**а** – геолого-структурная позиция (Рафаилович М. С., 2004): 1–9 – геологические формации: 1 – терригенно-карбонатная  $C_1$ , 2 – молассовая конгломерат-песчаниковая  $D_{2-3}$ , 3 – терригенная, вулканогенно-терригенная  $O_{1-2}$ ,  $O_2$ ,  $O_{2-3}$ , 4 – терригенная кварцитопесчаниковая  $R_3-V$  (кокшетауская свита), 5 – углеродисто-терригенно-карбонатная  $R_3-V$  (шарькская свита), 6 – порфириодно-порфиритоидная  $R_{1-2}$  (куспектская свита), 7 – амфиболит-гнейсовая  $PR_{1-2}$  (зерендинская серия), 8 – лейкогранитовая  $D_2$  (золотоношанский интрузивный комплекс), 9 – батолитов пестрого состава  $O_3-S_1$  (зерендинский интрузивный комплекс); 10 – купольно-кольцевые структуры; 11 – региональные разломы: I – Васильковско-Березовский, II – Донгульгашский, III – Алексеевский, IV – Широтный, 12 – разломы второго и третьего порядка, 13–14 – золото-сульфидно-кварцевые объекты штокверкового типа: 13 – очень крупное Васильковское месторождение, 14 – мелкие месторождения и рудопроявления;

**б** – общий вид карьера, **в** – контакт габброидов и гранодиоритов, **г** – площадная калишпатизация,

**д** – прожилок аплитовидного гранита, **е** – рудные прожилки и гнезда, рассекающие микроклинизованные граниты, **ж** – фрагмент рудоносного штокверка с прожилками золото-арсенопирит-кварцевого состава, **з** – рудоносная брекчия

Интрузивные породы объединяются в две серии: габбровую (габбро, габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты) и гранодиоритовую (плагиограниты, гранодиориты, граниты), внутри которой имеются фациальные разновидности. Габброиды прорываются гранодиоритами, между ними установлен резкий интрузивный контакт (рис. 1, в). Гранодиориты в раннешелочную стадию подверглись интенсивной площадной калишпатизации с идиоморфными порфиробластами микроклина красного, розовато-серого цветов (рис. 1, г), составляющими от 5–10 до 45–70 % от объема породы. На отдельных участках массива в них также проявлена площадная альбитизация с образованием кварц-мусковит-альбитовых метасоматитов белой окраски (рис. 1, д). К более поздним относятся редкие жилы пегматитов, аплитовидных гранитов и граносиенитов.

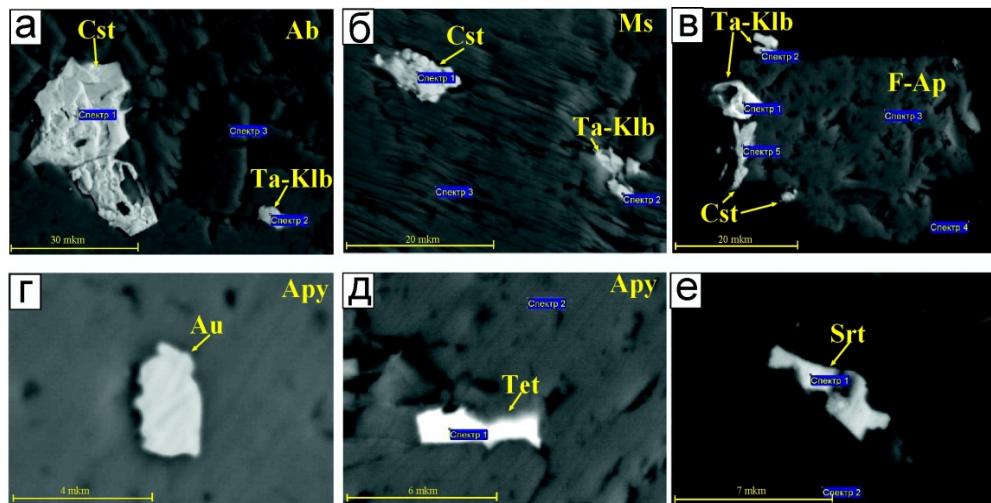
Основные рудные тела сформировались в тектонически нарушенной контактовой зоне габброидов и гранодиоритов. Рудообразование сопровождалось интенсивным гидротермально-метасоматическим изменением вмещающих интрузивных пород в кислотную стадию метасоматоза (березитизация, окварцевание) с образованием системы многочисленных ветвящихся золото-арсенопирит-кварцевых прожилков (рис. 1, е). В результате этих процессов в центральной части месторождения сформировался крупный золоторудный штокверк (рис. 1, ж, з) корневидной формы, с размерами на поверхности – первые сотни метров и вертикальной протяженностью до 1,0–1,5 км. Средние содержания золота 3–5 г/т [3, 11].

Новые результаты исследования авторов показывают, что зоны площадной микроклинизации пересекаются более поздними золотоносными прожилками и практически являются дорудными. По данным растровой

электронной микроскопии в них наблюдаются микровключения циркона, монацита и флюорита, отмечается также вкрапленность галенита и халькопирита. По масс-спектрометрии повышены значения (г/т): Rb (182,6), Nb (17,48), Sn (5,04), Mo (3,99). Среди редких земель характерные элементы La, Ce, Nd, Pr, а также Cd, Dy, Er, Yb, что согласуется с результатами масс-спектрометрии. Благородные и сопутствующие элементы имеют невысокие значения (г/т): Au (0,07), Ag (0,20), As (15,4) и Sb (1,84).

Альбитизация, которая проявилась в габброидах, гранодиоритах и гранитах, имеет площадное и локальное развитие. Процесс альбитизации сопровождался привносом редких щелочей (г/т): Li (1212), Rb (1282) и Cs (41,25) и редких элементов: Nb (38,92), Ta (6,26), Be (7,03), Sn (17,58). В альбитизированных гранитах также

повышены содержания Zn, Pb, Cu, Bi при низких значениях As (11,3), Sb (1,33), Ag (0,85), Au (0,14). По растровой электронной микроскопии для этих гранитов типичны редкометальные минералы танталит-колумбита (с примесью W – 3,73 вес. %), кассiterит (с примесью Ta – 2,24 вес. %) и колумбит, ассоциирующие с кварцем, альбитом, фтористым мусковитом и фторапатитом (рис. 2, а, б). Микровключение танталоносного минерала (Ta – 77,04 вес. %) обнаружено также в измененных габброидах (рис. 2, в). Размеры этих минералов изменяются от первых единиц до 50 мкм. Как видно, на месторождении, кроме золота, проявлена редкометальная минерализация в кварц-мусковит-альбитовых метасоматитах, что необходимо учитывать при дальнейших оценочных работах и в технологии обогащения руд.



**Рис. 2. Микровключения редкометальных минералов, золота и сульфидов в альбитизированных гранитах Васильковского месторождения. Изображение на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV (Аналитик А. В. Русакова):**

а – вкрапленность кассiterита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) в альбите (Ab) и б – во фтористом мусковите (Ms);  
в – микровключения кассiterита (Cst) и танталит-колумбита (Ta-Klb) на контакте с фторапатитом (F-Ap);  
г – золото (Au) комковидной формы в арсенопирите (Apy); д – вкрапленность тетрадимита (Tet) и е – сарторита (Srt)

В кислотную стадию метасоматоза на месторождении сформировался рудоносный штокверк, представленный кулисообразными, субпараллельными и взаимопересекающимися золотоносными жилами и прожилками. Стадийность минерализации: 1) пирит-пирротин-марказит-кварцевая (ранняя); 2) золото-пирит-арсенопирит-кварцевая; 3) золото-висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевая; 4) золото-полиметаллическая рудная и 5) кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая поздняя [2, 12, 13].

Высокоточные электронно-микроскопические исследования, проведенные на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV, показали, что основная масса золота связана с пирит-арсенопирит-кварцевой и висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциацией. Выделены две генерации золота: в арсенопирите и свободное в кварцевых жилах. Размеры золотин составляют от десятых долей мкм до 0,2 мм, формы округлые, амебообразные, комковидные и неправильные, реже в виде ромбододекаэдрических кристаллов и их сростков. Главным минералом-индикатором золотого оруденения является арсенопирит нескольких генераций, образующий пластинчатые и зернистые скопления. Содержит примеси Bi (15,93 вес. %), Te (9,83 вес. %) и микровключения золота комковидной формы размером 1–3 мкм (рис. 2, г). По данным растровой электронной микроскопии в этих зернах содержание Au – 2,54–2,65 вес. %. В ассоциации с арсенопиритом фиксируются зерна тетрадимита и сарторита (рис. 2, д, е).

По результатам масс-спектрометрии руды обогащены (г/т): Fe (75860), Ti (6547), V (293,8) и Mn (246,7). Отмечается высокие содержания As (44960), а также Cu (461,2), Sb (71,5) и Bi (85,95). Среди редких и редкоземельных элементов повышены значения Rb (217,1), Li (91,0), Sn (14,96), Nd (9,68), Dy (12,54). Руды характеризуются повышенной калиевой щелочностью ( $K/Na = 2,7$ ).

Главные элементы-индикаторы месторождения – Au, As, Bi, Te, менее контрастными являются W, Sb, Ag, Cu, Pb, Hg. Золото – сквозной элемент с содержаниями (г/т): в околоврудных породах – 0,37, в минерализованных зонах – 1,0, в рудных тела – 3,7, рудных столбах – более 10. Средние и высокие содержания золота характерны для центральной части рудосного штокверка. Наиболее крупные (мощностью до 0,5–1,0 м) золотоносные жилы развиваются в фронтальной зоне. Висмут тесно связан с пирит-арсенопиритовой минерализацией, его содержание во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах – 10 г/т, в прожилковых – 10–50 г/т, в рудных столбах – до 100–1500 г/т. Золото образует тесные корреляционные связи с элементами рудной стадии – Bi, As, Ag, Pb, Cu.

В пострудную стадию на месторождении проявилась кальцит-кварц-серцизитовая, флюорит-карбонатная, кварц-турмалиновая и карбонат-эпидот-пренитовая минерализация, представленная в виде жил, прожилков и гнезд. Наиболее крупные жилы карбонат-флюоритового сос-

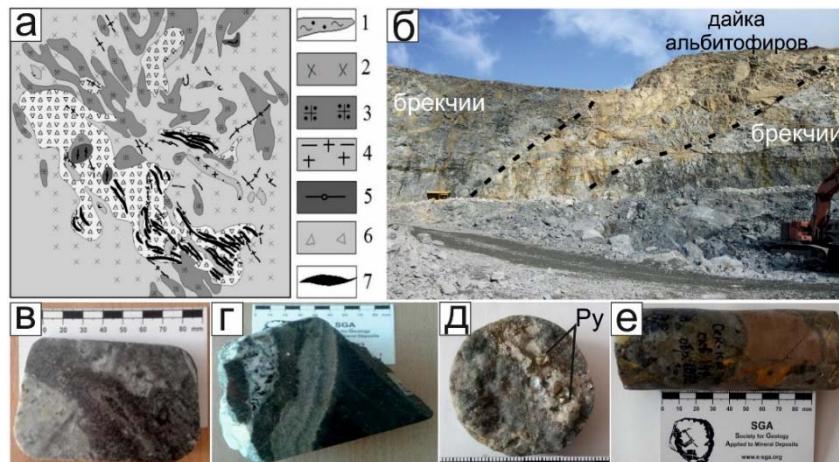
тава прослеживаются в нижней части карьера. Васильковское месторождение по запасам относится к крупным объектам и является одним из перспективных в стратегии укрепления золоторудного потенциала Казахстана [3].

#### Условия формирования рудных штокверков на Секисовском месторождении

Секисовское месторождение размещается в Восточном Казахстане в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны Большого Алтая [1, 2]. Рудный Алтай – это крупная рудоносная структура региональной ранговости, в которой в раннюю стадию герцинид ( $D_{1e}$ – $D_{3fr1}$ ) сформировались многие промышленные колчеданно-полиметаллические и медно-колчеданные месторождения вулканогенного генезиса с богатыми комплексными рудами (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Pt и др). Месторождения связаны с

группой базальт-андезит-риолитовых формаций, дифференцированных и контрастного ряда, размещаются на нескольких рудоносных геохронологических уровнях девонского вулканогенно-осадочного разреза [9].

В среднюю стадию герцинского цикла ( $C_1$ – $C_3$ ) в связи со сменой геодинамического режима геологические структуры Рудного Алтая развивались в коллизионной обстановке в результате сближения и сстыковки активных окраин Казахстанского и Горноалтайского микроконтинентов. Непосредственно в Рудноалтайской зоне в эту стадию сформировались ареалы габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитовых интрузий (змеиногорский комплекс  $C_{2-3}$ ), с которыми связано Секисовское месторождение золото-теллуридной формации, представленное брекчированными золото-сульфидными зонами и штокверками (рис. 3, а) [7, 8].



**Рис. 3. Геологическое строение Секисовского месторождения:**

- а – схема геологического строения и геологический разрез месторождения (по материалам "Востказгеология"):
- 1 – четвертичные отложения; 2 – гранодиориты, кварцевые диориты; 3 – биотит-роговообманковые граниты, плагиограниты;
- 4 – аплитовидные граниты, гранит-порфиры; 5 – плагиогранит-порфиры змеиногорского комплекса ( $C_{2-3}$ );
- 6 – эксплозивные брекции смешанного и кислого состава; 7 – золоторудные тела;
- б – карьер месторождения, тела брекций, дайка альбитофоров; в – рудоносные брекции;
- г – контакт брекций с габбро-диоритами, метасоматические изменения во вмещающих магматитах (светлое);
- д – золотоносные кварц-карбонатно-сульфидные и кварцевые прожилки в брекциях кислого состава;
- е – брекции смешанного состава

В структуре рудного поля ограничено проявлены вулканогенно-осадочные породы (пиштовская свита  $D_{3fm1}$ ) и песчаниково-алевролитовые отложения (тарханская свита  $C_1t_1$ ), основная его часть сложена магматитами змеиногорского комплекса и рыхлыми четвертичными отложениями. В составе этого комплекса выделяются четыре интрузивные фазы: 1) габбро, габбро-диориты; 2) диориты, гранодиориты; 3) плагиограниты; 4) граниты. Дайковая серия представлена мелко- и микрозернистыми диоритами, диоритовыми порфиритами, аплиновидными гранитами, гранит-порфирами и кварцевыми альбитофорами (рис. 3, б).

Для рудного поля характерна повышенная тектоническая нарушенность пород, фиксируемая брекчированными, смятыми и будинированными текстурами магматитов, рудно-эксплозивными брекциями в виде обломков интрузивных пород (размером от первых сантиметров до 2 м более), сцепленных основной массой пропилитового и березитового состава с золото-сульфидной минерализацией (рис. 3, в, г).

Рудоконтролирующее значение придается Шемонаихо-Секисовской зоне разломов северо-западного простириания, которые в сочетании с флексураобразными изгибами и разрывами других направлений контролировали размещение брекций и рудных тел. Субмеридиона-

льные и северо-восточные нарушения с субвертикальными и крутыми углами падения являются более поздними и обусловили блоковую структуру месторождения.

Выходыrudовмещающихбрекцийтрубообразной и линейно-вытянутой формы (размерами в плане от 40 x 100 м до 120 x 500 м) прослеживаются на глубину более 950 м. Типырудоносныхметасоматитов зависели от состава исходных пород: 1) пропилито-сульфидные (по габброидам, диоритам) и 2) березито-сульфидные (по плагиогранитам и порфирам), на которые накладывались золотоносные кварц-карбонатно-сульфидные и кварцевые прожилки (рис. 3, д, е). Содержание сульфидов в цементе брекций изменяется от долей процента до 15 % (в среднем 5 %). Рудообразование сопровождалось выносом из вмещающих пород Si, Na, привносом Fe, K, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> и рудных компонентов (Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Te, Bi, Mo). Золото и серебро в березитах и прожилках положительно коррелируются с Pb, Zn, Cu, Bi, а в прит-кварцевых прожилках еще и с Mo (+0,76). Золото связано с сульфидами, однако прямой корреляции между содержаниями сульфидов и золота не установлено. Всего отмечается пять минерализованных золотоносных зон, в которых сосредоточены основные рудные тела. Последние характеризуются лентовидной и линзовидной

формой, отмечаются и столбообразные тела в узлах пересечения разрывов. По падению рудные тела не оконтурены, мощность их варьирует от 0,6 до 3,3 м [11].

Золото-сульфидное оруденение вкрапленное и прожилково-вкрапленное. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда, магнетит, ильменит, рутил, тетрадимит, висмутин и др. Все типы руд обогащены пиритом (в протолочке более 17 кг/т). В вертикальной зональной колонне выделяются два минеральных парагенезиса: ранний золото-железо-медно-редкометальный (на глубоких и средних горизонтах) и поздний золото-серебро-висмут-теллур-полиметаллический (на верхнем горизонте). Поздняя минерализация ассоциирует с дайками кварцевых альбитофитов, гранит-порфиров и фельзитов. Здесь же развиты жилки кварц-карбонатного и кварц-сульфидного составов [10, 15].

Золото двух типов – свободное в виде зерен неправильной, прожилковидной и удлиненных форм, выполняющих трещинки или на стыке зерен в пирите и кварце, и тонкодисперсное в пирите ( $Au = 10 \text{ г/т}$ ,  $Ag = 100 \text{ г/т}$ ,  $Bi = 290 \text{ г/т}$ ) (рис. 4, а-г).

Индикаторы оруденения –  $Au$ ,  $Bi$ ,  $Ag$ , попутные компоненты –  $Mo$ ,  $W$ ,  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Te$ ,  $Co$  и др. Золото имеет бимодальное распределение в первичных рудах и зоне окисления. В первичных рудах доминирует золото класса 2–6 г/т (44,5 %) с концентрацией в рудных столбах до 500–600 г/т. В зоне окисления содержания  $Au = 10$ –60 г/т. Серебро в зоне окисления имеет неравномерное распределение преимущественно класса 20–60 г/т (49,1 %). Для первичных руд характерны моды  $Ag = 2$ –10 г/т (55 %) и 20–35 г/т (12,5 %). Кривые распределения  $Ag/Au$  для зоны окисления и первичных руд повторяют друг друга. Секисовское месторождение имеет промышленное значение и в настоящее время разрабатывается.

**Обсуждение.** Выполненные исследования и анализ материалов по другим регионам Казахстана и зарубежных стран показывают, что крупные золото-сульфидно-кварцевые месторождения штокверкового типа формируются в региональных геологических структурах коллизионного типа в процессе ритмично-пульсационного сдвижения и подворота литосферных плит и блоков, в периоды высокой тектонической активности земной коры. Их размещение контролируется системами корово-магниевых глубинных разломов, надвиговыми структурами и гипабиссальными интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плахиогранитовой серии [1, 5, 7–9]. Рудообразование связывается с интенсивными процессами тектонического преобразования и гидротермально-метасоматического изменения исходных магматических пород (микроклинизация, альбитизация, пропилизация, березитизация и окварцевание) и формированием золотоносных штокверков и эруптивных брекчий промышленного значения [6, 14]. Рудные тела характеризуются  $Au-Ag-Bi-Te$  специализацией. Золото свободное и связанное с сульфидами, вертикальный диапазон распределения оруденения значительный (более 500–800 м).

Рассматриваемые Васильковское и Секисовское месторождения сформировались в крупных горнорудных районах Казахстана, представлены золотоносными штокверками и брекчиями (с содержаниями золота от первых единиц до десятков г/т), обладают высоким сырьевым потенциалом, с перспективами прироста запасов на глубину и по флангам в пределах прогнозируемых минерализованных зон. Руды характеризуются разнообразием теллуридов золота, серебра, высокое содержание в них минералов висмута и проявление редкометальной специализации ( $Sn$ ,  $Nb$ ,  $Ta$ ) повышает реалистичность освоения месторождений данного типа.

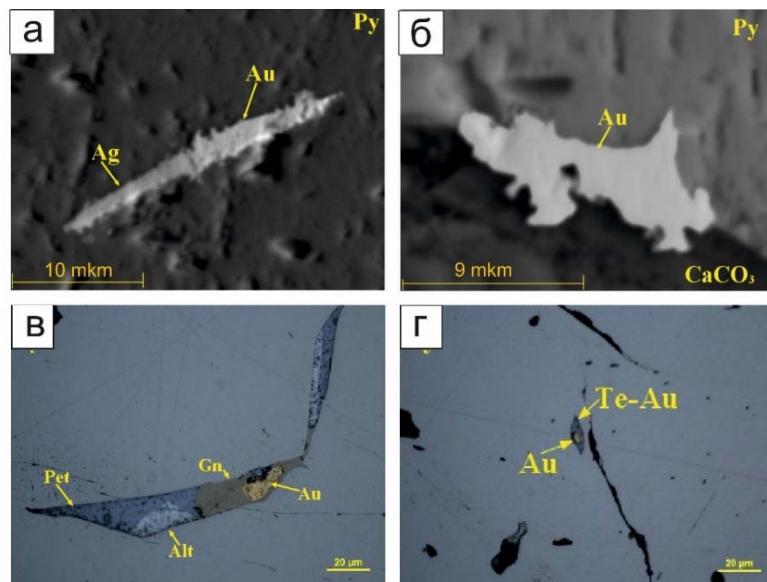


Рис. 4. Золото прожилковое и тонкодисперсное в кварце и пирите:

а – сросток самородного серебра (Ag) и золота (Au) в пирите (Py);  
б – самородное золото (Au) на стыке зерна кальцита ( $CaCO_3$ ) и пирита (Py);

в – самородное золото (Au) и алтант (Alt) в пирите (Py); г – золото (Au) в сростке с теллуромисмутитом (TeBi) в пирите (Py)

**Выводы.** Выявлено широкое развитие сложных соединений золота и серебра с теллуром – месторождение Секисовское, а в рудах Васильковского месторождения – с теллуром и висмутом.

Комплексность руд предполагает постановку задачи разностороннего учета основных и попутных компонентов при проведении всех стадий работ, начиная с гео-

лого-оценочных до эксплуатационной разведки. Современные технологии обогащения, новейшие способы разработки позволяют сейчас отнести эти месторождения к объектам первоочередного промышленного освоения. Их изучение имеет научное значение в вопросах эндогенного рудообразования и создает предпосылки выявления новых перспективных площадей и месторождений, как в Казахстане, так и в других регионах мира.

Авторы выражают благодарность руководству и специалистам компаний Hambleton Mining и ТОО "Казцинк". Исследования выполнялись в рамках госбюджетной темы № 49-313-2017, МОН РК.

#### Список использованных источников

- Гигантские месторождения золота Центральной Азии. Укрепление золоторудного потенциала Казахстана / под ред. Г. Р. Бекжанова. – Алматы, 2014. – С. 35–124.
- Золотоносность арсенопирита золотосульфидных месторождений Восточного Казахстана / К. Р. Ковалев, Ю. А. Калинин, Е. А. Наумов и др. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 2. – С. 225–242.
- Рафаилович М. С. Геология золота Центральной Азии: эволюция оруднения, метасоматические формации, эксплозивные брекчи / М. С. Рафаилович. – Алматы, 2013. – С. 361–385.
- Рафаилович М. С. Золото недр Казахстана / М. С. Рафаилович. – Алматы, 2009. – С. 74–89.
- Рафаилович М. С. Крупные месторождения золота в чернозападных толщах: условия формирования, признаки сходства / М. С. Рафаилович, М. А. Мизерная, Б. А. Дьячков. – Алматы, 2011. – С. 102–143.
- Gold deposits of Western Siberia and Eastern Kazakhstan: types and ages of mineralization, correlation with magmatic events / E. Naumov, A. Borisenko, K. Kovalev, Y. Kalinin, G. Fedoseev, R. Seltmann // Let's Talk Ore Deposits: 11th SGA Biennial Meeting. – Antofagasta. – 2011. – P. 82–84.
- Gold-tellurium deposits formation conditions, mineralogical features / V. A. Krenev, N. F. Drobot, S. V. Fomichev, U. K. Aripov, E. A. Dunin-Barkovskay // Petrochemistry And Petroleum Refining Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2015.– Vol. 49, Is. 4. – P. 532–535.
- Kirnozova T. I. Geologic position, age, and petrogenesis of plagiogranites in northern Rudny Altai Russian / T. I. Kirnozova, A. V. Travin // Geology and Geophysics – 2013. – № 54. – P. 1305–1318.
- Kruk N. N. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implication for continental crust history and magma sources / N. N. Kruk // Journal of Asian Earth Sciences. – 2011. – Vol. 42, № 5. – P. 928–948.
- Mineralization style and geochronology of the Sekisovka gold deposit, eastern Kazakhstan / E. Naumov, A. Mizerny, R. Seltmann, K. Kovalev, A. Izokh // Mineral deposit research for a high-tech world. – 2013. – Vol. 1–4. – P. 1164–1167.
- Mineralogical and geochemical characteristics of the Vasilkovskoye gold deposit (North Kazakhstan) / A. Dolgopolova, R. Seltmann, A. Miroshnikova, M. Mizernaya // Mineral resources in a sustainable world. – 2015. – Vol. 1–5. – P. 77–80.
- Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: implications for gold depositional processes / Su Wenchao, Zhang Hongtao, Hu Ruizhong, Ge Xi, Xia Bin, Chen Yanyan, Zhu Chen // Mineralium Deposita. – 2012. – Vol. 47, Is. 6. – P. 653–662.
- Physico-chemical formation conditions and age of the Vasilkovskoe gold deposit (Northern Kazakhstan) / M. O. Khomenko, N. A. Gibsher, A. A. Tomilenko, T. A. Bulbak, M. A. Ryabukha, D. V. Semenova // Geology and Geophysics. – 2016. – Vol. 57, № 12. – P. 2192–2217.
- Redin Yu. O. Gold-bismuth-telluride mineralization in ores from the Serebryanoe deposit of the Lugokan ore cluster of Eastern Transbaikalia / Yu. O. Redin, V. M. Kozlova // Russian Journal of Pacific Geology. – 2014. – Vol. 8, Is. 3. – P. 187–199.
- Seltmann R. Magmatism and metallogeny of the Altai and adjacent large igneous provinces with an introductory essay on the Altaids / R. Seltmann, A. S. Borisenko, G. Fedoseev // International Association Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Guidebook Series 16, CERCAMS/NHM London, 188–294.
- Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Guidebook Series 16, CERCAMS/NHM London. – 2007. – P. 188–294.

#### References

- Bekzhanov, G. K. (Ed.) (2014). Gigantskie mestorozhdeniya zolota Tsentrals'noy Azii. Ukraylenie zolotorudnogo potentsiala Kazakhstana. Almaty, 35–124. [in Russian].
- Kovalev, K. R., Kalinin, Yu. A., Naumov, E. A., Kolesnikova, M. K., Korolyuk, V. N. (2011). Zolotonosnost' arsenopirita zolotolus'fidnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Kazakhstana. Geologiya i geofizika, 52, 2, 225–242. [in Russian].
- Rafailovich, M. S. (2013). Geology of gold of Central Asia: evolution of gold ore depositional processes, metasomatic formation, explosive breccia. Almaty, 361–385. [in Russian].
- Rafailovich, M. S. (2009). Gold deposits of Kazakhstan. Almaty, 74–89. [in Russian].
- Rafailovich, M. S., Mizernaya, M. A., D'yachkov, B. A. (2011). Krupnye mestorozhdeniya zolota v chernoslantsevyykh tolshchakh: usloviya formirovaniya, priznaki skhodstva. Almaty, 102–143. [in Russian].
- Naumov, E., Borisenko, A., Kovalev, K., Kalinin, Y., Fedoseev, G., Seltmann, R. (2011). Gold deposits of Western Siberia and Eastern Kazakhstan: types and ages of mineralization, correlation with magmatic events. Let's Talk Ore Deposits: 11-th SGA Biennial Meeting. Antofagasta, 82–84.
- Krenev, V. A., Drobot, N. F., Fomichev, S. V., Aripov, U. K., Dunin-Barkovskay, E. A. (2015). Gold-tellurium deposits formation conditions, mineralogical features. Petrochemistry And Petroleum Refining Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 49, 4, 532–535.
- Kirnozova, T. I., Travin, A.V. (2013). Geologic position, age, and petrogenesis of plagiogranites in northern Rudny Altai Russian. Geology and Geophysics, 54, 1305–1318.
- Kruk, N. N. (2011). Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implication for continental crust history and magma sources. Journal of Asian Earth Sciences, 42, 5, 928–948.
- Naumov, E., Mizerny, A., Seltmann, R., Kovalev, K., Izokh, A. (2013). Mineralization style and geochronology of the Sekisovka gold deposit, eastern Kazakhstan. Mineral deposit research for a high-tech world, 1–4, 1164–1167.
- Dolgopolova, A., Seltmann, R., Miroshnikova, A., Mizernaya, M. (2015). Mineralogical and geochemical characteristics of the Vasilkovskoye gold deposit (North Kazakhstan). Mineral resources in a sustainable world, 1–5, 77–80.
- Wenchao, Su , Hongtao, Zhang, Ruizhong, Hu, Xi, Ge, Bin, Xia, Yanyan, Chen, Chen, Zhu (2012). Mineralogy and geochemistry of gold-bearing arsenian pyrite from the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China: implications for gold depositional processes. Mineralium Deposita, 47, 6, 653–662.
- Khomenko, M. O., Gibsher, N. A., Tomilenko, A. A., Bulbak, T. A., Ryabukha, M. A., Semenova, D. V. (2016). Physico-chemical formation conditions and age of the Vasilkovskoe gold deposit (Northern Kazakhstan). Geology and Geophysics, 57, 12, 2192–2217.
- Redin, Yu. O., Kozlova, V. M. (2014). Gold-bismuth-telluride mineralization in ores from the Serebryanoe deposit of the Lugokan ore cluster of Eastern Transbaikalia. Russian Journal of Pacific Geology, 8, 3, 187–199.
- Seltmann, R., Borisenko, A. S., Fedoseev, G. (2007). Magmatism and metallogeny of the Altai and adjacent large igneous provinces with an introductory essay on the Altaids. International Association Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Guidebook Series 16, CERCAMS/NHM London, 188–294.

Надійшла до редакції 10.06.17

M. Mizernaya<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

B. Dyackov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Acad. of NSA KR

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

A. Miroshnikova<sup>2</sup>, Doctoral student

anastasiya-2588@mail.ru,

A. Mizerny<sup>1</sup>, Doctoral student

vostokprom@bk.ru,

G. Orazbekova<sup>1</sup>, Doctoral student

orazbekova@bk.ru

<sup>1</sup>East Kazakhstan state technical university named D. Serikbaev

<sup>19</sup> Serikbaeva Str., Ust Kamenogorsk, 070004, Kazakhstan

<sup>2</sup>"NC of KPMC of KR" SubDepartment "VNiltzvetmet"

1 Promishlennaya Str., Ust Kamenogorsk, 070004, Kazakhstan

## LARGE SULFIDE-QUARTZ STOCKWORK GOLD DEPOSITS OF KAZAKHSTAN – FORMATION CONDITIONS AND PREDICTING CRITERIA

The objective of the present study is to identify gold mineralization and associated elements distribution patterns in gold-bearing stockworks of gold-sulfide-quartz type large deposits in Northern and Eastern Kazakhstan and to detect geological and structural position of x-ore stockworks. Main methods are field studies within the Vasilkovskoye ore field in northern Kazakhstan and the Sekisovskoye ore field in eastern Kazakhstan. Samples of ore-bearing magmatic rocks and ore bodies were taken to determine the chemical composition and distribution patterns of the main ore minerals and impurities. Microprobe analysis using a scanning electron JSM 6390LV microscope with an energy-dispersive attachment, comparative characteristics of ore mineralization in the fields studied was made.

Results of the study of the completed research and comparative analysis of data from other regions of the world show that large stockwork gold-sulfide-quartz with tellurides and bismuth-bearing Vasilkovskoye and Sekisovskoye ore deposits formed in a period of high tectonic activity in the earth's crust within regional geologic collision type structures, in the process of rhythmically pulsating displacement and tuck in the lithospheric plates and blocks. The position of ore stockworks is controlled by crust-magnesium deep splits, thrust structures and hypabyssal

*intrusions of gabbro-diorite-granodiorite-plagiogranite series. The mineralization is associated with intense tectonic crushing processes and hydrothermal-metasomatic transformation of host rocks, manifested in microclinization, albitization, propylitic alteration, beresitization and silicification as well as injection of ore minerals. The ore bodies are characterized by Au-Ag-Bi-Te specialization. The gold is of two types: free and banded with sulfides, the mineralization vertical distribution range being significant (more than 500–800 m). The banded gold deposits in the Vasilkovskoye are localized in arsenopyrites, in the Sekisovskoye deposit gold mineralization is banded with pyrites of several generations. Scientific novelty is that complex compounds of silver and gold with tellurium have been revealed in the Sekisovskoye and, with tellurium and bismuth in ores of the Vasilkovskoye deposit.*

*The complexity of ores involves setting a versatile task of basic and trace elements recording during all stages of work: from geological evaluation to production exploration. Modern processing technology and the latest development techniques allow classifying those fields as objects of industrial development priority. Studying them has scientific significance in the matter of endogenous ore formation, and creates a prerequisite to identifying promising new areas and deposits, both in Kazakhstan and in other parts of the world.*

**Keywords:** gold deposit, intrusion, stockwork, tellurides, bismuth, Kazakhstan.

М. Мізерна<sup>1</sup>, канд. геол.-мінерал. наук, доц.

E-mail: mizernaya58@bk.ru,

Б. Дьячков<sup>1</sup>, д-р геол.-мінералог. наук, проф., акад. НАН РК

E-mail: bdyachkov@mail.ru,

А. Мірошникова<sup>2</sup>, докторант PhD.

anastasiya-2588@mail.ru,

А. Мізерний<sup>1</sup>, докторант PhD.

vostokprom@bk.ru,

Г. Оразбекова<sup>1</sup>, докторант PhD.

orazbekova@bk.ru

<sup>1</sup>Східно-Казахстанський державний технічний університет ім. Д. Серікбаєва вул. Д. Серікбаєва, 19, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Республіка Казахстан

<sup>2</sup>Філіял РГП "НЦ КПМС РК" "ВНІЦвтмет"

вул. Промислова, 1, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Республіка Казахстан

## ВЕЛИКІ СУЛЬФІДНО-КВАРЦОВІ ШТОКВЕРКОВІ РОДОВИЩА ЗОЛОТА КАЗАХСТАНУ – УМОВИ ФОРМУВАННЯ, КРИТЕРІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ

**Мета – виявлення закономірностей розподілу золоторудної мінералізації та супутніх елементів у золотоносних штокверках великих родовищ золото-сульфідно-кварцового типу Північного і Східного Казахстану, визначення геологіко-структурної позиції в рудних штокверках.**

**Методика – польові дослідження в межах Васильківського рудного поля в північному Казахстані та Секісовського рудного поля у Східному Казахстані. Відбір проб з рудовимісних магматитів і рудних тіл для визначення хімічного складу і виявлення закономірностей розподілу основних рудних мінералів і домішок. Були проведені мікрозондовий аналіз за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM 6390LV з енергодисперсійною приставкою та порівняльна характеристика рудної мінералізації досліджуваних родовищ.**

**Результати: виконані дослідження і порівняльний аналіз даних з інших регіонів світу показують, що великі штокверкові золото-сульфідно-кварцові з телуридами та вісмутом родовища – Васильківське і Секісовське сформувалися в період високої тектонічної активності земної кори, у межах регіональних геологічних структур колізійного типу, у процесі ритмічно-пульсаційного зрушення і підвороту літосферних плит і блоків. Положення рудних штокверків контролюються системами коро-магнінних глибинних разломів, надвиговими структурами і гіпабіссальними інтрузіями габро-діорит-гранодіорит-плагіогранітової серії. Рудоутворення пов'язано з інтенсивними процесами тектонічного дроблення і гідротермально-метасоматичного перетворення порід, що відбуваються у мікроклінізації, альбітизації, проплілізації, березитизації та окварцовування, а також привнесенні рудних мінералів. Рудні тіла характеризуються Au-Ag-Bi-Te спеціалізацією. Золото двох типів: вільне і звязане із сульфідами, вертикальний діапазон розподілу зруднення значний (більше 500–800 м). Звязане золото родовища Васильківське локалізується в арсенопіритах, на Секісовському родовищі золоторудна мінералізація пов'язана з притом декількох генерацій.**

**Наукова новизна. Виявлено значне поширення складних з'єднань золота і срібла з теллуром у рудах Секісовського родовища, а в рудах Васильківського родовища – з телуром і вісмутом.**

**Комплексність руд передбачає постановку завдання різновідмінного обліку основних і супутніх компонентів при проведенні всіх стадій робіт, починаючи з геологічно-оценочних до експлуатаційної розвідки. Сучасні технології збагачення, новітні способи розробки дозволяють сьогодні віднести ці родовища до об'єктів першочергового промислового освоєння. Їхнє вивчення має наукове значення в питаннях ендогенного рудоутворення і створює передумови виявлення нових перспективних площ і родовищ, як у Казахстані, так і в інших регіонах світу.**

**Практична значимість. Рудні тіла досліджуваних родовищ локалізуються в золотоносних штокверках і брекчіях (із вмістом золота від перших одиниць до десятків г/т), відзначається високий сировинний потенціал і перспективи значного приросту запасів. Руди характеризуються різноманітністю телуридів золота, срібла, високий вміст у них мінералів вісмуту і прояви рідкокометальних спеціалізацій (Sn, Nb, Ta) підвищує рентабельність освоєння родовищ даного типу. Тектонічні, магматичні і мінералого-геохімічні чинники контролюють розрізняють зонами мінералізованих брекчій на флангах і глибину досліджуваних родовищ. Значні концентрації золота, а також різноманітність супутніх елементів підвищують рентабельність освоєння родовищ даного типу.**

**Ключові слова:** родовище золота, інтрузія, штокверк, телуриди, вісмут, Казахстан.