



Условия формирования и изотопно-геохронологические характеристики золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан)

Греку Е. Д.¹, Калинин Ю. А.¹, Гладков А. С.², Наумов Е. А.³,
Сердюков А. Н.⁴, Боровиков А. А.¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

² Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия; ³ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия;

⁴ ТОО «К-ПЛЕЙСЕР», г. Семей, Республика Казахстан

Аннотация. Геолого-структурными исследованиями обоснованы четыре этапа становления и активизации разрывной сети месторождения Южные Ашалы. Гомогенизация флюидных включений в кварце золото-малосульфидно-кварцевых руд происходила при температурах 338–147 °С. Солёность флюидов варьировала от 10,5 до 0,3 мас. % при преобладающей роли NaCl и KCl. Изотопный состав серы пирита-I отвечает осадочному источнику ($\delta^{34}\text{S} = -7\text{‰}$), а пирита-II и арсениопирита-I – глубинному. Изотопный U-Pb возраст циркона (LA-ICP-MS) из гранитоидов составляет $309 \pm 2,1$ и $305,8 \pm 2,2$ млн лет, а возраст золото-малосульфидно-кварцевых руд – 280 млн лет (Ar/Ar метод). Предложена структурно-вещественная модель формирования месторождения: I – осадконакопления и раннего диагенеза; II – позднего диагенеза и метаморфизма, с которым связаны руды золото-сульфидной формации; III – эффузивного магматизма; IV – интрузивного магматизма; V – гидротермальный-I, с которым связаны руды золото-малосульфидно-кварцевого типа; VI – пострудный гидротермальный-II.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, Западно-Калбинский золотоносный пояс, геолого-структурные исследования, флюидные включения, изотопный состав S и C, U-Pb и Ar/Ar датирование, структурно-вещественная модель.

Для цитирования: Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Гладков А. С., Наумов Е. А., Сердюков А. Н., Боровиков А. А. Условия формирования и изотопно-геохронологические характеристики золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан). Руды и металлы. 2025. № 1. С. 57–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004.

The formation conditions and isotopic-geochronological characteristics of the Southern Ashaly gold deposit (Eastern Kazakhstan)

Greku E. D.¹, Kalinin Yu. A.¹, Gladkov A. S.², Naumov E. A.³, Serdyukov A. N.⁴, Borovikov A. A.¹

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia;

² Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia;

³ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia;

⁴ K-PLACER LLP, Semey, Republic of Kazakhstan

Annotation. The geological structural studies substantiate four stages of formation and activation of the fault network of the Southern Ashali gold deposit. Homogenization of fluid inclusions in quartz of the gold-low-sulfide-quartz ores took place at 338...147 °C. The salinity of the fluids varied from 10,5 to 0,3 wt.% with the dominant presence of NaCl and KCl. The sulfur isotope composition of pyrite-I ($\delta^{34}\text{S} = -7\text{‰}$) corresponds to a sedimentary source, and that of pyrite-II and arsenopyrite-I corresponds to a deep-seated source. The U-Pb isotope age determinations (LA-ICP-MS) on zircons from the granitoids 309.1 ± 2.1 and 305.8 ± 2.2 Ma, respectively, and the age of gold-low-sulfide-quartz ores is 280 Ma (Ar/Ar technique). A structural-compositional model of the ore deposit formation is proposed, that comprises six stages: I – sedimentation and early diagenesis; II – late diagenesis and/or metamorphism, associated with the gold-sulfide ores; III – effusive magmatism; IV – intrusive magmatism; V – hydrothermal-I, associated with gold-low-sulfide-quartz type ores; and VI – post-ore hydrothermal-II stage.

Keywords: Eastern Kazakhstan, West Kalba gold-bearing belt, geological structural studies, fluid inclusions, S and C isotopic composition, U-Pb and Ar/Ar dating, structural-compositional model.

For citation: Greku E. D., Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Naumov E. A., Serdyukov A. N., Borovikov A. A. The formation conditions and isotopic-geochronological characteristics of the Southern Ashaly gold deposit (Eastern Kazakhstan). Ores and metals. 2025. No. 1. pp. 57–82. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10004.





Введение. Настоящая статья является продолжением предыдущей работы [11], в которой были подробно рассмотрены этапность рудообразования и минералого-геохимические особенности золотоносных парагенезисов месторождения Южные Ашалы Западно-Калбинского золотоносного пояса (ЗКЗП) Восточного Казахстана. Было обосновано выделение двух главных этапов рудообразования, каждому из которых соответствует свой тип руд: ранний золото-сульфидный и поздний золото-малосульфидно-кварцевый. На основе детального изучения вещественного состава руд установлена стадийность минералообразования, выявлены особенности распределения и уровни концентрирования золота в пиритах и арсенопиритах месторождения. Сделано заключение о сложности и длительности процессов рудообразования на месторождении Южные Ашалы, являющемся нетипичным представителем так называемых «орогенных» месторождений Западно-Калбинского золотоносного пояса. Значительные по запасам объекты «орогенного» типа широко распространены в ЗКЗП (Бакырчик, Большевик, Суздаль, Жанан и другие), локализуясь, как правило, в углеродисто-терригенных толщах карбона и представляя собой упорные арсенопирит-пиритовые вкрапленные руды с трудно извлекаемым тонким золотом. Но нередко в рудных полях ЗКЗП присутствуют жильные и штокверковые минерализованные зоны в приконтактных частях гранитоидных интрузий, являвшиеся долгие десятилетия основным объектом золотодобычи (например, месторождения Акжал, Баладжал, Сулу, Президент и др.). Традиционно золоторудные месторождения региона связывались с магматизмом кунушского [8, 13, 14] и аргимбайского [23] комплексов.

Цель настоящей статьи – на основе комплексного анализа вещественных (изотопно-геохимических, изотопно-геохронологических, термобарогеохимических) и геолого-структурных характеристик разработать предварительную модель формирования месторождения Южные Ашалы.

Краткая геологическая характеристика месторождения. Геологическое строение ме-

сторождения Южные Ашалы было охарактеризовано в предыдущей статье, равно как и структурно-текстурные и минералого-геохимические особенности руд [11]. Также данные о геологическом строении месторождения Южные Ашалы кратко приводятся в работах предыдущих исследователей [7, 16, 17, 28, 29, 37].

Геологическое строение месторождения достаточно простое: в основании разреза залегают терригенно-осадочные породы буконьской свиты (C_2bk), смятые в узкие линейные складки субширотного простирания, которые, по материалам геолого-съёмочных работ, последовательно перекрываются вулканогенно-осадочными породами даубайской (C_2db) и майтубинской свит (C_2mt). Вышеописанные вмещающие породы прорываются дайками и малыми телами основного и кислого состава, контролируемые главным образом зонами Южного, Поперечного и Долинного разломов (рис. 1). На месторождении выделяются руды золото-сульфидного и золото-малосульфидно-кварцевого типов. Первый тип локализуется в терригенно-осадочных породах буконьской свиты в виде минерализованных зон (мощностью до 15 м), второй – приурочен ко кварцевым жилам (мощностью до 2 м), которые прорывают породы буконьской и даубайской свит [11].

Материалы и методы исследования. В основу работы положен фактический материал, полученный и обобщённый авторами в ходе полевых исследований на объектах Даубай-Ашалинского рудного поля в период с 2016 по 2022 г. Хорошая оснащённость территории исследования, а следовательно, её высокая степень дешифрируемости позволила использовать метод структурного дешифрирования для выявления особенностей площадного распределения разрывных нарушений. Метод базируется на теоретической концепции о ландшафтах как динамичных природных системах, в которых отражены изменения, вызванные неотектоническими процессами. В качестве исходных данных использовались материалы аэрокосмической съёмки (МАКС) высокого разрешения с онлайн-сервиса ArcGIS Online. Выделение и интерпретация разрыв-

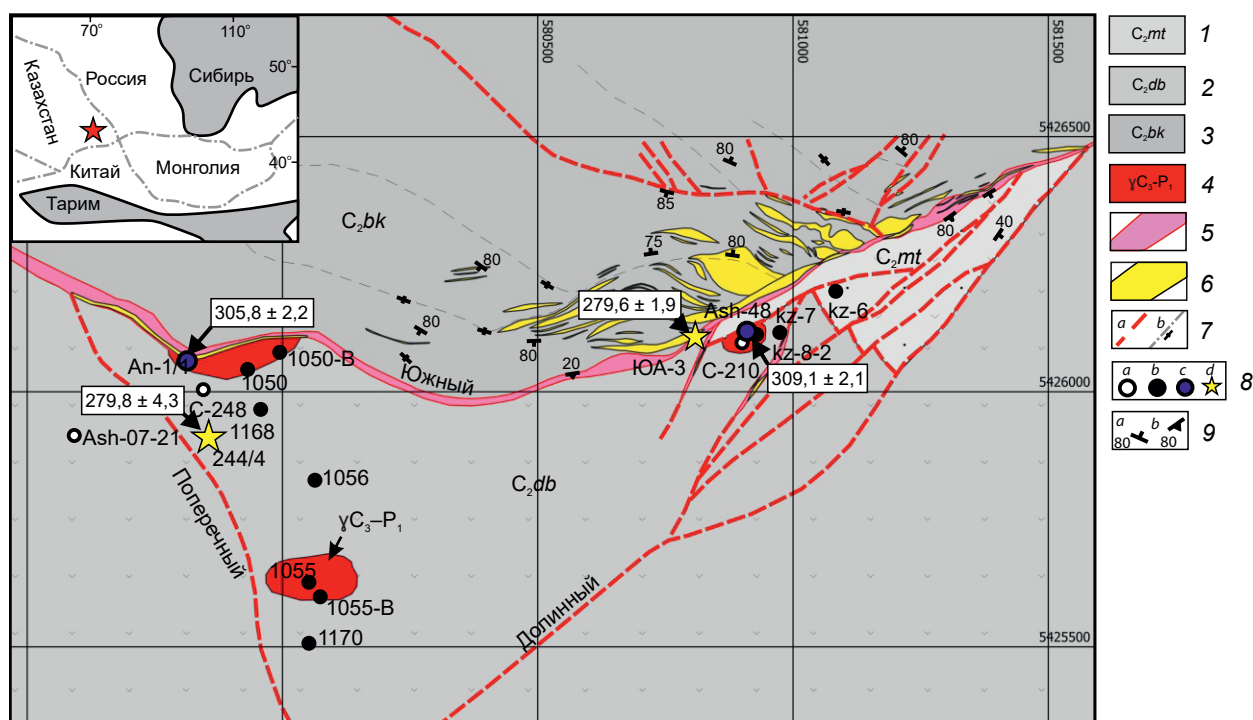


Рис. 1. Геологическая схема месторождения Южные Ашалы (по данным [17, 28, 29] с изменениями):

1 – туфобрекчии (C_2mt); 2 – андезибазальты, андезиты, базальты (C_2db); 3 – терригенно-осадочные породы (C_2bk); 4 – сиенит-порфиры, диориты, гранодиориты; 5 – углеродистые тектониты/милониты/катаклазиты (сдвиговые зоны); 6 – рудные тела; 7a – разломы; 7b – оси антиклинальных складок с элементами залегания; 8 – точки отбора проб: a – из керна скважин, b – с поверхности, c – циркона на возраст (U-Pb методом), d – серицита на возраст (Ar/Ar методом); 9 – элементы залегания: a – слоистости; b – разломов. Примечание: система координат – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 14

Fig. 1. Schematic geological map of the South Ashali deposit (modified after [17, 28, 29]):

1 – tuff breccia (C_2mt); 2 – basaltic andesites, andesites, basalts (C_2db); 3 – terrigenous sedimentary rocks (C_2bk); 4 – syenite porphyries, diorites, granodiorites; 5 – carbonaceous tectonites/mylonites/cataclasites (shear zones); 6 – ore bodies; 7a – faults; 7b – axes of anticlinal folds with the attitudes; 8 – sampling points: a – from borehole cores, b – from the surface, c – of zircon for the age determination (U-Pb method), d – of sericite for the age determination (Ar/Ar method); 9 – attitudes: a – layering; b – faults.

Notes: coordinate system – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 14

ных нарушений проводились на основе гидро-геологических, геоморфологических и почвенно-геоботанических признаков (индикаторов), указывающих на наличие разломов на исследуемой площади [22].

Структурные наблюдения были выполнены как на месторождении Южные Ашалы, так и в пределах близлежащих месторождений и рудопоявлений Даубай-Ашалинского рудного поля, что позволило более полно охарактеризовать особенности структурного контроля золоторудной минерализации. Решение за-

дач, связанных с выявлением закономерностей структурного контроля месторождения Южные Ашалы, осуществлено с помощью тектонофизического подхода [27]. В его основе лежит детальное изучение разноранговых тектонических дислокаций (складок и разрывов) в естественных/искусственных обнажениях, определение их параметров, кинематики (для дизъюнктивов), а также взаимоотношений для восстановления полей тектонических напряжений с выделением этапов формирования и активизации рудовмещающих структур. С этой

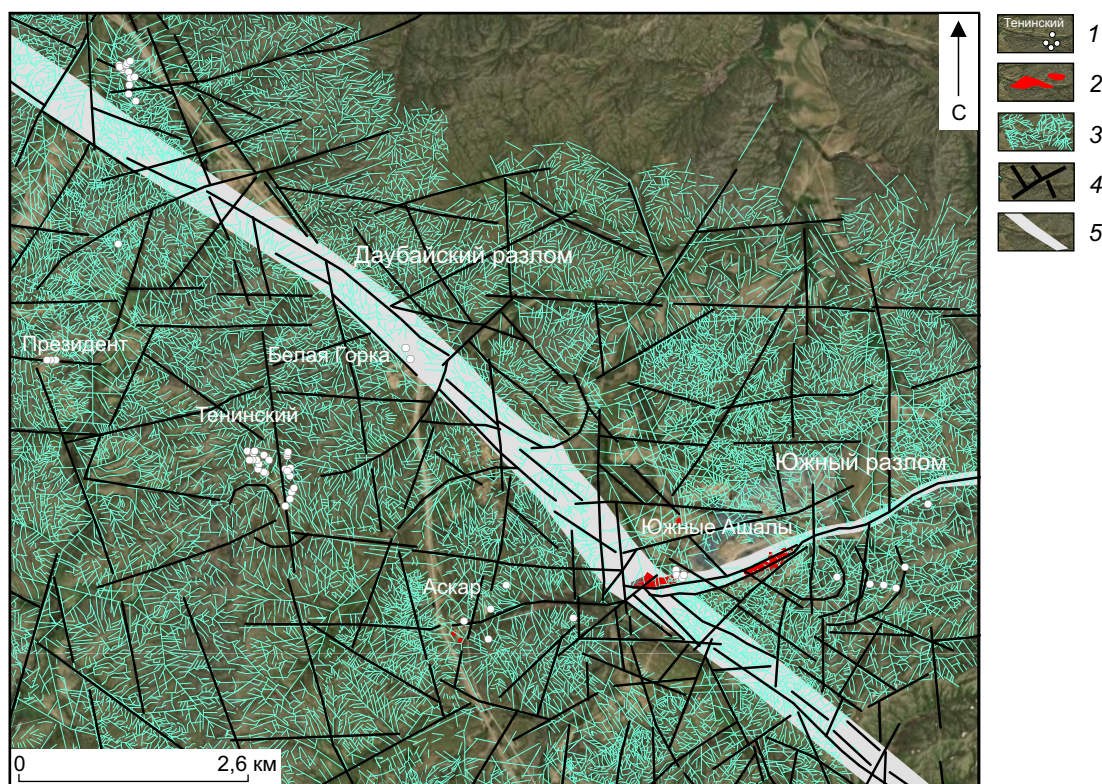


Рис. 2. Схема линеаментов изучаемой территории:

1 – точки наблюдений и названия рудных участков; 2 – рудные тела; 3 – локальные линеаменты, выделенные по результатам структурного дешифрирования; 4 – генерализованные линеаменты; 5 – зоны разломов

Fig. 2. Schematic map of lineaments of the study territory:

1 – observation points and names of the ore sites; 2 – ore bodies; 3 – local lineaments identified based on the structural deciphering; 4 – generalized lineaments; 5 – fault zones

целью на месторождении Южные Ашаны и на сопредельных участках изучаемой площади были созданы сети точек тектонофизических и геолого-структурных наблюдений (рис. 2), в каждой из которых выполнен единый комплекс измерений, направленный на сбор информации об основных параметрах тектонической трещиноватости, её количественных характеристиках, локальных разрывных нарушениях, пликтивных дислокациях и пр. Восстановление полей напряжений, которые определяли формирование и активизацию разломной сети и, в конечном счёте, локализацию рудных тел, осуществлялось на основании анализа основных характеристик трещинной сети в точках наблюдений,

а также диаграмм массовых замеров трещин. При этом использовались методические приёмы М. В. Гзовского [9], В. Н. Даниловича [10, 12], П. Н. Николаева [25] и Д. Дельво [39]. В общей сложности за период полевых исследований задокументировано около 1000 тектонических трещин и систем трещин (с учётом массовых замеров), 120 разрывных нарушений более высокого ранга, порядка 60 малых дайковых тел.

Исследование флюидных включений (ФВ) проведено методами крио- и термометрии (микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений от -196 до +600 °C). Составы газовой и твёрдых фаз включений определялись методом КР-спектроскопии (спек-



тросметр Ramanor U-1000 фирмы JobinYvon, лазер MillenniaProS2 (532 nm), детектор HORIBA JOBIN YVON; г. Новосибирск). Общая концентрация солей в растворах флюидных включений и принадлежность их к той или иной водно-солевой системе устанавливались по данным криометрии [5, 38].

Изотопный состав $\delta^{34}\text{S}$ определялся в шести мономинеральных фракциях пирита и арсенопирита, отобранных под бинокулярной лупой с чистотой не ниже 95 %, на масс-спектрометре Finnigan MAT Delta (в режиме двойного напуска). Воспроизводимость значений $\delta^{34}\text{S}$ не ниже 0,1 ‰. Значения $\delta^{34}\text{S}$ приведены относительно стандарта CDT. Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ органического вещества определялся в образце алевропесчаника с тонкой вкрапленностью пирита на масс-спектрометре Finnigan MAT-253 с приставкой Flash EA 1112 (аналитик Реутский В. Н.). Точность определения $\delta^{13}\text{C}$ составляет $\pm 0,1$ ‰. Изотопные значения $\delta^{13}\text{C}$ приводятся относительно стандарта V-PDB.

U-Pb датирование зёрен циркона было проведено методом LA-ICP-MS (аналитик Семёнова Д. В.). Цирконы отбирались вручную и методом разделения в тяжёлых жидкостях. Морфология и внутреннее строение цирконов изучались при помощи катодолюминесценции. Измерения проводились на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой Thermo Scientific Element XR, соединённом с системой лазерной абляции New Wave Research UP 213, на основе ультрафиолетового Nd:YAG лазера с длиной волны 213 нм. Параметры измерения масс-спектрометра оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала ^{208}Pb при минимальном значении $^{248}\text{ThO}^+/^{232}\text{Th}^+$ (менее 2 %), используя стандарт NIST SRM612. Все измерения выполняли по массам ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U . Съёмка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в режиме счёта (counting) для всех изотопов, кроме ^{238}U и ^{232}Th (режим triple). Диаметр лазерного луча составлял 30 мкм, частота повторения импульсов 5 Гц и плотность энергии лазерного излучения 3,0–3,5 Дж/см².

Данные масс-спектрометрических измерений обрабатывали с помощью программы Glitter (GEMOC) [41]. U-Pb изотопные отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов Plesovice [50]. Погрешности единичных анализов (отношений, возрастов) приведены на уровне 1 σ . В качестве образца сравнения использовали стандартный образец циркона GJ-1 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст $608,53 \pm 0,37$ млн лет) [43].

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопно-геохронологическое определение возраста серицита из рудных ассоциаций проводилось из мономинеральных фракций по методике ступенчатого прогрева, описанной в работе [31]. Серицитовый концентрат с примесью кварца отбирался вручную из самого образца и из дроблёной фракции, а затем обрабатывался раствором соляной кислоты (50 : 50 %) для удаления примеси карбоната.

Обработка и анализ первичной полевой информации, а также графическое оформление итоговых материалов производились в программных комплексах Micromine, RockWorks, AutoCAD, STRUCTURE, CorelDraw, Isoplot 3, QGIS. Все аналитические исследования проводились в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск).

Геолого-структурные исследования. В процессе анализа полевой геолого-структурной информации были последовательно рассмотрены особенности строения сети разрывных нарушений, тектонической трещиноватости, а также восстановлены поля тектонических напряжений.

Результаты структурного дешифрирования приведены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что на площади работ проявлены локальные разломы северо-западного, субширотного, субмеридионального и северо-восточного направлений. Значительная часть локальных нарушений представляет собой элементы внутреннего строения более масштабных разломных зон. Максимальные длины линеаментов, выделенные на крупномасштабных схемах и отождествляемые с мегатрещиноватостью, составляют от 0,3 до 1,0 км. Далее визуальное на меньшем (от первоначального) масштабе



Рис. 3. Выход частного сместителя зоны Даубайского разлома на восточном фланге месторождения Южные Ашалы (участок Аномальный)

Fig. 3. Outcrop of a particular fissure of the Daubai fault on the eastern flank of the Southern Ashaly deposit (the Anomaly Site)

производилась генерализация однородных по простиранию линеаментов, выстраивающихся в единые линии.

Наиболее крупным северо-западным разломом в пределах изученной территории является Даубайский разлом. Данное нарушение является одним из элементов Горностаевско-Аркалыкско-Боконской палеозоны субдукции и прослеживается с юго-востока на северо-запад практически через всю площадь. Падение сместителя юго-западное, под углами от 60 до 85°. Ширина зоны Даубайского разлома 400–500 м. Тектониты частных сместителей разлома представлены зонами интенсивного смятия, дробления и милонитизации вмещающих пород (рис. 3). На высокую интенсивность тектонических движений по разлому за прошедшие этапы указывает наличие в его зоне узких (десятки метров шириной) протяжённых (сотни метров) тектонических пластин, представленных породами буконьской и майтубинской свит. В зоне влияния разлома локализованы месторождения Южные Ашалы, Белая Горка и Родниковое.

Из субширотных нарушений наибольший интерес представляет зона Южного разлома, в зоне влияния которого расположены ос-

новные рудные тела месторождения Южные Ашалы (см. рис. 3). Одни исследователи относят данный разлом к системе трансрегионального Чингиз-Нарымского глубинного разлома [23, 44], другие считают его оперяющей структурой Даубайского разлома [7]. Южный разлом представляет собой зону смятия с крутым падением на юг-юго-запад ($\angle 65-75^\circ$). Мощность зоны достигает от десятков до первой сотни метров. В зоне влияния данного разлома породы смяты в узкие линейные складки и прорваны дайками альбитофиров и диоритовых порфириров [7].

Субмеридиональные и северо-восточные нарушения также играют существенную роль в тектоническом строении площади. Как правило, это крутопадающие зоны расщепления, дробления и милонитизации с мощностями до нескольких десятков метров.

Разрывные нарушения, зафиксированные при полевых наблюдениях в естественных обнажениях и горных выработках, чаще всего представляют собой структуры локального ранга в виде зон повышенной трещиноватости, дробления, расщепления (рис. 4), реже зон катаклаза и милонитизации. Мощности их варьируют от первых метров до десят-

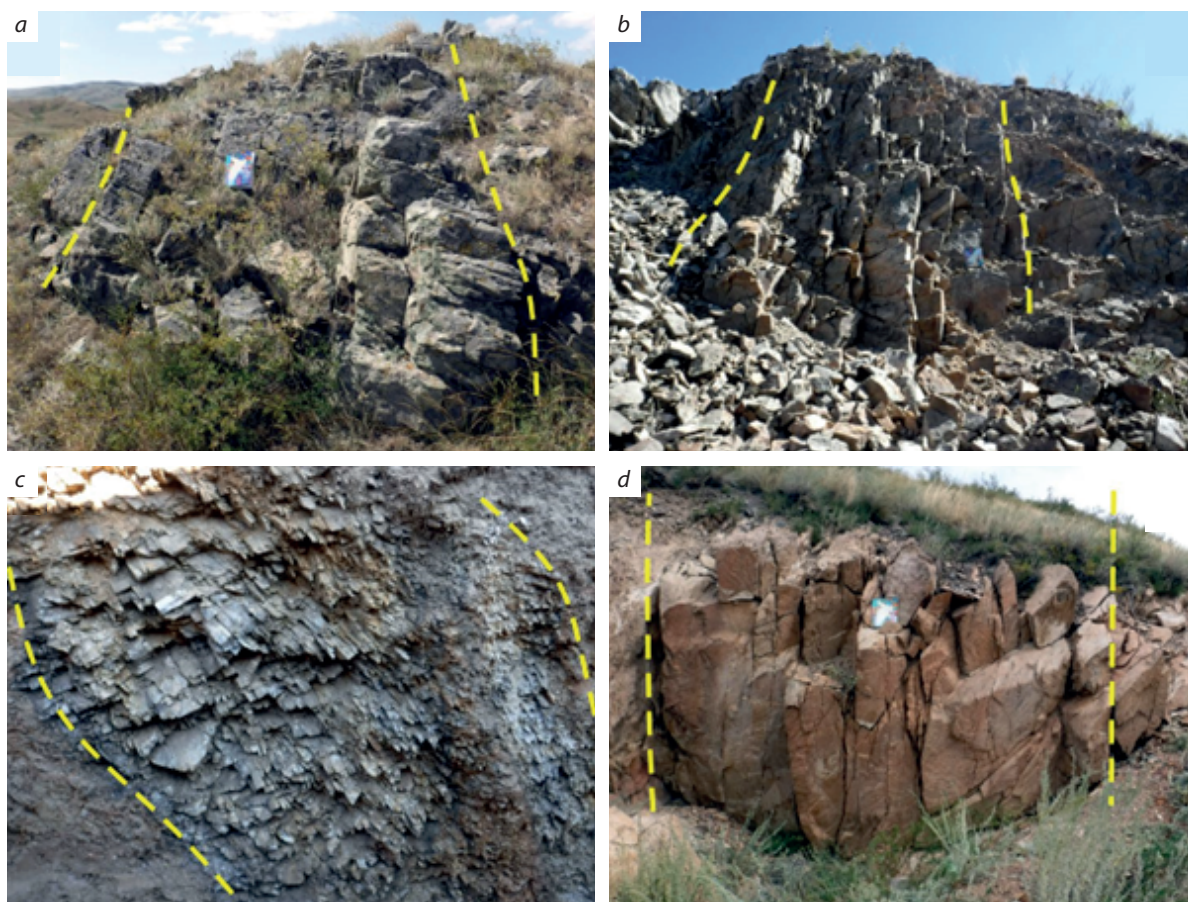


Рис. 4. Примеры локальных нарушений:

a – зона крупных сколов $110^\circ \angle 87^\circ$ в коренном выходе андезитов (участок Ашалинский); *b* – зона повышенной трещиноватости $80^\circ \angle 85^\circ$ в юго-восточной стенке траншеи, вскрывающей контакт песчаников и андезитов (участок Ашалинский); *c* – зона повышенной трещиноватости и дробления $180^\circ \angle 68^\circ$ в северо-западной стенке канавы (участок Аномальный); *d* – зона крупных сколов $0^\circ \angle 85^\circ$ в стенке подрезки (участок Тенинский)

Fig. 4. Examples of local faults:

a – zone of large shears $110^\circ \angle 87^\circ$ in the primary outcrop of andesites (Ashalinsky Site); *b* – zone of increased fracturing $80^\circ \angle 85^\circ$ in the south-eastern wall of a trench, exposing the contact of sandstones and andesites (Ashalinsky Site); *c* – zone of increased fracturing and crushing $180^\circ \angle 68^\circ$ in the north-western wall of a trench (Anomalny Site); *d* – zone of large shears $0^\circ \angle 85^\circ$ in an undercut wall (Teninsky Site)

ков метров, углы наклона от 20° до 90° . При анализе нарушения с углами 61° – 90° отнесены к субвертикальным, а с углами от 60° до 30° – к наклонным.

С целью реконструкции физико-химических условий рудообразования был проведён комплекс термобарогеохимических исследований.

Температурный режим и состав рудообразующих флюидов. Флюидные включения

были изучены в кварце кварц-карбонатных жил из керна скважины № 263, относящихся к золото-малосульфидно-кварцевому этапу формирования месторождения Южные Ашалы.

Типы флюидных включений. В кварце прожилок этого этапа присутствуют вторичные, псевдовторичные и первичные флюидные включения размером обычно менее 5 мкм, реже до 10–15 мкм. Основными критериями

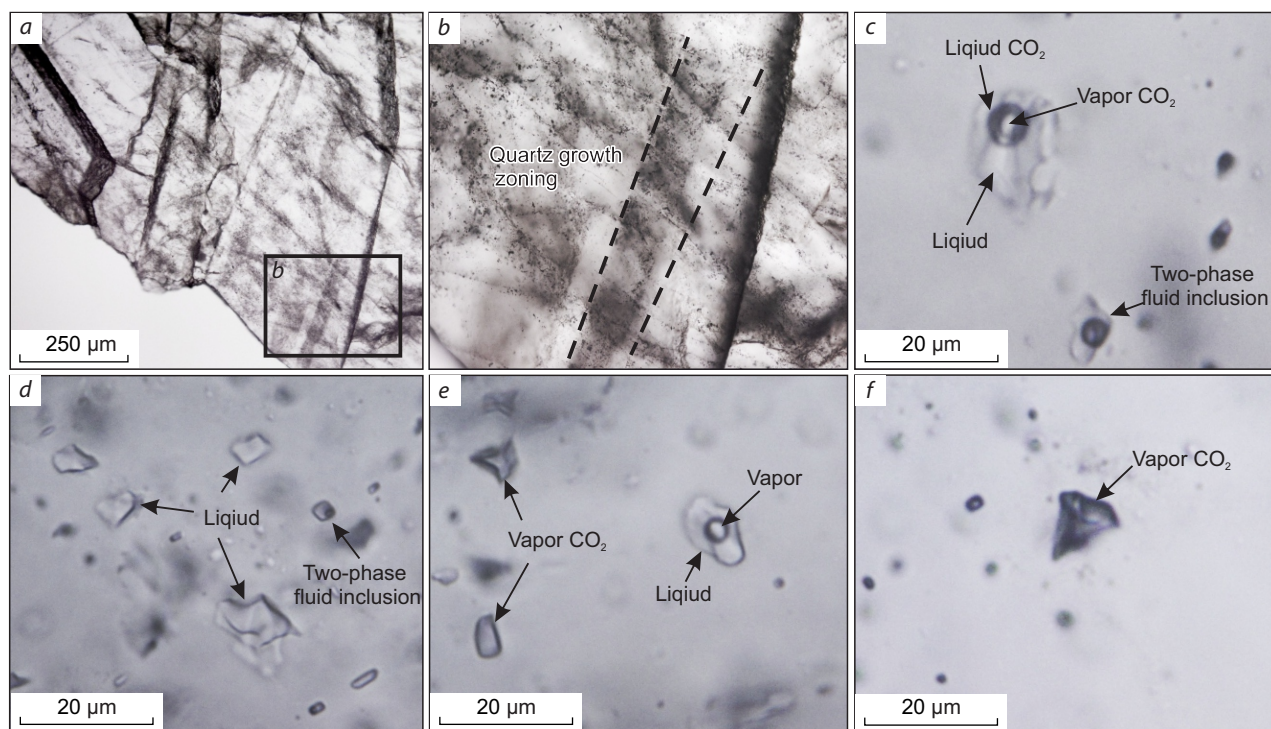


Рис. 5. Образец 263-145. Флюидные включения в кварце рудных жил месторождения Южные Ашалы: флюидные включения трассируют зоны роста в кварце II–III генерации (а, b); тип L – однофазные жидкие ФВ (с); однофазные газовые CO₂ ФВ (тип V) и двухфазное ФВ типа L2 (d); тип L1 – трёхфазное жидкое ФВ, обогащённое CO₂ (e); однофазные газовые CO₂ включения (f)

Fig. 5. Sample 263-145. Fluid inclusions in quartz from ore veins of the Southern Ashali deposit:

fluid inclusions (FI) trace growth zones in quartz of II–III generation (a, b); type L – single-phase liquid FI (c); single-phase gaseous CO₂ FI (type V) and two-phase FI of the L2 type (d); type L1 – three-phase liquid FI enriched in CO₂ (e); single-phase gaseous CO₂ inclusions (f)

первичности ФВ являлись их расположение в зонах роста кварца (рис. 5, а, b) и их «роевидное» скопление в обособленных группах без приуроченности к системам микро трещин в кварце [15, 26]. По фазовому составу ФВ могут быть разделены на несколько типов: однофазные газовые (V), содержащие газовую фазу (см. рис. 5, d, f); вторичные однофазные жидкие (L) (см. рис. 5, c); вторичные трёхфазные (L1), обогащённые CO₂, содержащие водно-солевой раствор и газовую фазу (от 20 до 80 об. %) в виде жидкого и газообразного CO₂ (см. рис. 5, e); первичные и псевдовторичные двухфазные (L2) из зон роста кварца, содержащие водно-солевой раствор и пузырь газа, занимающий 10–20 об. % (см. рис. 5, c, d, e).

По данным КР-спектроскопического изучения, газовая фаза ФВ разных типов содержит главным образом CO₂, незначительную примесь N₂ до 21,8 мол. % и CH₄ до 3,2 мол. %. ФВ (L1) являются включениями комбинированного захвата жидкой и газообразной фракций рудообразующего флюида в разных пропорциях. Они содержат заметный избыток газовой фазы в виде CO₂ и при нагревании декрепитируют. ФВ (L1) содержат растворы солёностью от 4,9 до 3,9 мас. % в экв. NaCl. Плотность CO₂ меняется от 0,5 до 0,87 г/см³.

Гомогенизация двухфазных ФВ (L2) происходит в интервале температуры от 338 до 126 °C (табл. 1). Плавление эвтектики растворов двухфазных ФВ (L2) происходит в интервале температуры от -25 до -20 °C, что было фиксирова-



Таблица 1. Результаты термометрического изучения двухфазных ФВ типа L2 в кварце II–III генерации керн на скважины № 263

Table 1. Results of thermometric study of type L2 two-phase FI in quartz of II–III generation from the core of hole No. 263

H , м	$T_{\text{гом}}$, °C	$T_{\text{пл}}$ льда, °C	$T_{\text{пл}}$ CO ₂ гидрата, °C	Солёность, мас. % в экв. NaCl
77	300–260	–	9,1–4,9	9,1–1,8
	210–159	-1,6...-2,6	–	2,7–4,3
97	338–162	-3,5...-0,4	–	5,7–0,7
105,7	211–210	–	8,9–6,7	4,9–2,2
	231–170	-0,2...-2,8	–	4,6–0,3
124	250–147	–	10,0–4,8	9,3–0,3
	250–147	-1,6...-3,5	–	5,7–2,7
137,5	256–155	–	9,0–4,1	10,5–2,0
	200–161	-0,2...-4,0	–	6,4–0,3
145,9	233	–	8,8	2,4
	256–243	-4,4...-4,0	–	6,7–6,4
158,8	198–187	–	9,3–9,5	1,5–1,4
	298–146	-0,1...-3,8	–	5,9–0,2

Примечания: H – глубина; $T_{\text{гом}}$ – температура гомогенизации; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления.

но только в единичных крупных (15–20 мкм) флюидных включениях. Эвтектика растворов двухфазных ФВ (L2) отвечает составу NaCl – H₂O и NaCl – KCl – H₂O водно-солевых систем [5]. При охлаждении двухфазных ФВ (L2) в некоторых из них образуется газогидрат CO₂, который плавится в интервале температуры от +9,4 до +4,1 °C. Солёность таких двухфазных ФВ (L2) варьирует от 9,1 до 1,4 мас. % экв. NaCl. В других ФВ (L2) при охлаждении образуется лёд, который плавится в интервале температуры от -4 до -0,4 °C. Солёность ФВ (L2) варьирует от 6,5 до 0,2 мас. % экв. NaCl.

По результатам изучения ФВ в кварце из позднего золото-малосульфидно-кварцевого типа руд установлены его температуры гомогенизации, которые варьируют в интервале от 338 до 147 °C. Солёность рудообразую-

щих флюидов варьировала в широком интервале от 10,5 до 0,3 мас. % в экв. NaCl. Состав флюидов определяют хлориды NaCl и KCl, в газовой фазе присутствуют CO₂, N₂, CH₄.

Изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические исследования. Изотопный состав серы определялся в сульфиде из рудных метасоматитов и из зоны дробления минерализованных сланцев (табл. 2).

Осадочно-диагенетический пирит из зоны дробления углеродистых сланцев имеет значения $\delta^{34}\text{S} = -7$ ‰, что подтверждает его изначально сингенетическую природу. Отрицательное значение $\delta^{34}\text{S}$ этого пирита (Py-I), характеризующегося повышенным содержанием Au и ряда других элементов [11], может свидетельствовать об его восстановлении анаэробными бактериями из сульфат-ионов [30].

Значения $\delta^{34}\text{S}$ золотосодержащих пирита и арсенопирита из углеродистых алевропесчаников (золото-сульфидный тип руд) колеблются в интервале от 1,6 до 4,3 ‰, что соответствует изотопному составу серы всех других аналогичных золоторудных месторождений ЗКЗП, где предполагается дополнительный привнос глубинной («мантийной») серы (рис. 6).

Изотопный состав углерода, определяемый в углеродистом веществе (УВ) метаморфизованного алевропесчаника с мелкой вкрапленностью пирита и прожилками марказита (обр. Kz-8-1), имеет значение $\delta^{13}\text{C} = -20,77$ ‰.

Для выяснения возраста формирования магматических пород и установления возможной связи рудообразования с магматизмом были проведены U-Pb и Ar/Ar изотопно-геохронологические исследования.

U-Pb изотопно-геохронологические исследования. По геологическим данным, дайки и малые тела интрузий прорывают вмещающие породы буконьской (C₂bk) и даубайской (C₂db) свит. Возраст образования нижней вулканогенной толщи андезитов и андезибазальтов, распространённых в пределах Даубай-Ашалинского рудного поля, оценивается в 311 ± 2 млн лет [35], что соответствует нижней возрастной границе для интрузивных образований.

Таблица 2. Изотопный состав серы сульфидов месторождения Южные Ашалы

Table 2. Isotopic composition of sulfur in sulfides of the Southern Ashaly deposit

№ образца	Минерализация	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$, ‰
Kz-8-2	Тонковкрапленная в углеродистом алевропесчанике	Пирит-II	4,3
Kz-8-2	Тонковкрапленная в углеродистом алевропесчанике	Арсенопирит-I	3,3
Kz-6-4	Мелковкрапленная в углеродистом сланце (зона дробления)	Пирит-I	-7,0
244/14	Вкрапленная сульфидная и прожилковая кварц-сульфидная в углеродистом алевролите	Пирит-II	2,5
244/14	Вкрапленная сульфидная и прожилковая кварц-сульфидная в углеродистом алевролите	Арсенопирит-I	3,0
248/3	Тонковкрапленная в углеродистом алевролите	Пирит-II	1,6
248/3	Тонковкрапленная в углеродистом алевролите	Пирит-II	1,6

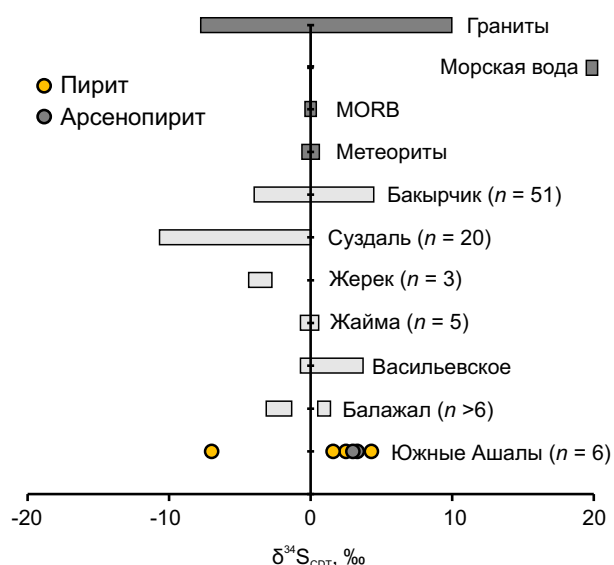


Рис. 6. Вариации изотопного состава серы золоторудных месторождений ЗКЗП:

светло-серый – месторождения Восточного Казахстана (по данным [1, 19, 20, 45, 51]); темно-серый – поля данных по [30]

Fig. 6. Variations in the isotopic composition of sulfur in gold deposits of the West Kalba Gold-bearing Belt:

light gray – deposits of Eastern Kazakhstan (after [1, 19, 20, 45, 51]); dark gray – data fields after [30]

Для уточнений возраста магматических пород из интрузивных массивов альбитофирсиенит-порфирового (обр. Ash-48) и гранодиорит-порфирового (обр. An-1/1) состава проведен анализ двух проб, отобранных из коренных обнажений (см. рис. 1). Образец Ash-48 представляет собой гранодиорит-порфир с вкрапленниками (30 %) серицитизированного плагиоклаза, псевдоморфозами вторичной слюды и рутила, образующими сагенитовую решётку по амфиболу (?), и редкими резорбированными зёрнами брекчированного кварца в аллотриоморфно-зернистом агрегате (рис. 7, 1, с, d). Основная масса представлена кварцем (45 %) и изменённым плагиоклазом (55 %). Образец An-1/1 представляет собой гранодиорит с вкрапленниками плагиоклаза в тонкозернистом кварц-плагиоклазовом фельзит-аллотриоморфно-зернистом агрегате и таблитчатыми биотитизированными и карбонатизированными псевдоморфозами по темноцветным минералам, также встречаются прожилки карбоната (рис. 7, 2, с–d).

В общей сложности проанализирован 41 индивидуальный кристалл циркона (41 анализ); восемь анализов исключены из рассмотрения по причине их высокой дискордант-

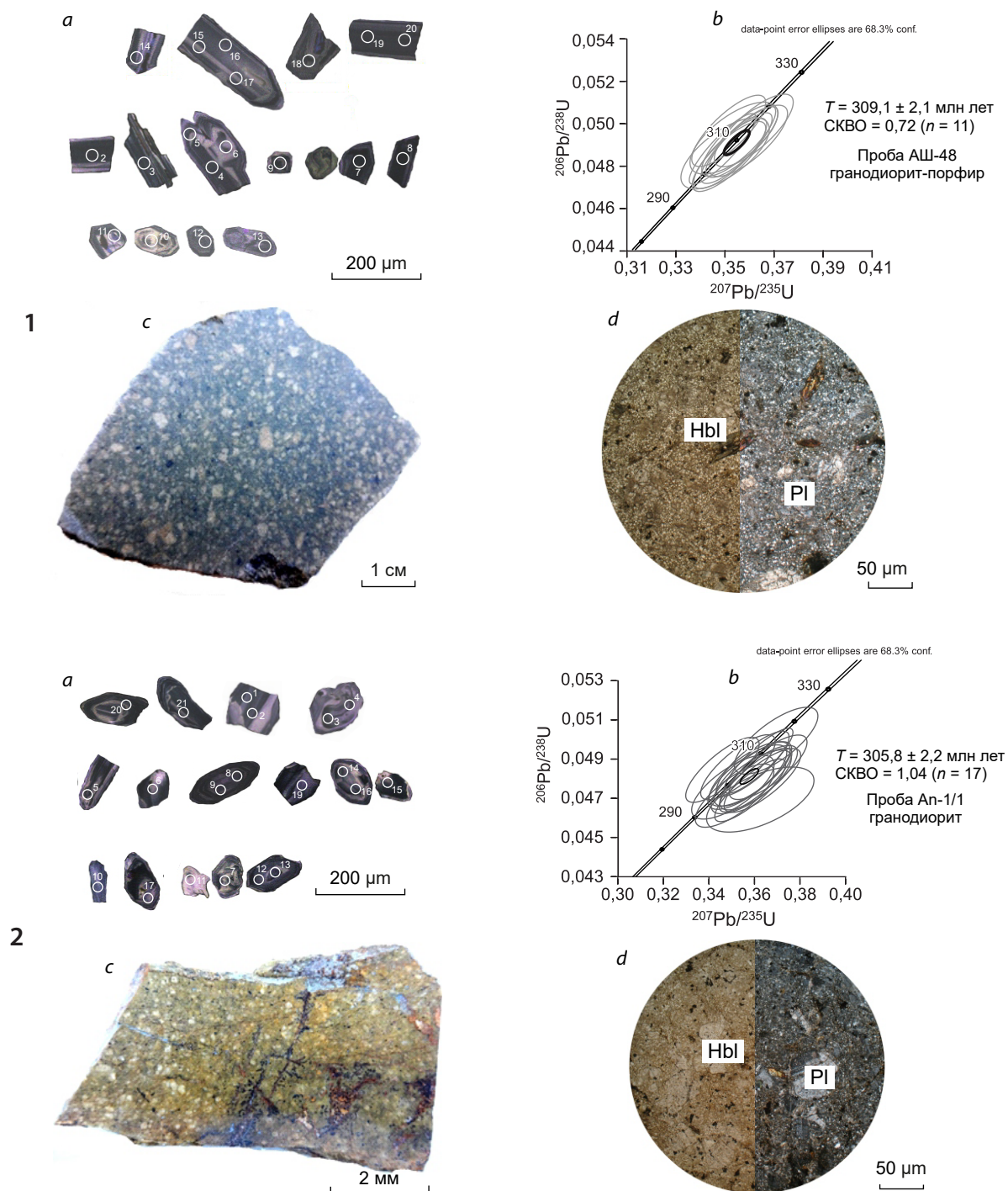


Рис. 7. Результаты U-Pb изотопного датирования цирконов (1 – проба Ash-48, 2 – проба An-1/1):

a – катодолуминесцентные изображения цирконов с точками LA-ICP-MS; **b** – возраст пробы (n – число экспериментальных точек); **c** – фотография образца; **d** – фотография шлифа (PPL/ PPX)

Fig. 7. Results of U-Pb isotopic dating of zircons (1 – sample Ash-48, 2 – sample An-1/1):

a – cathodoluminescence images of zircons with LA-ICP-MS points; **b** – age of the sample (n – number of experimental points); **c** – photograph of the sample; **d** – photograph of a thin section (PPL/PPX)

ности ($> 5\%$) и один – из-за низких содержания U и Pb в минерале, данные с отклонением в таблицу не включены (табл. 3). На катодолюминесцентных изображениях зёрен циркона короткопризматического габитуса наблюдается концентрическая зональность (см. рис. 7, 1а, 2а). Размеры зёрен варьируют от десятков до 250 мкм. По результатам датирования возраст гранодиорит-порфира (альбитофир-сиенит-порфирового массива) составляет $309,1 \pm 2,1$ млн лет (см. рис. 7, 1а), а возраст гранодиорита (гранодиорит-порфирового массива) – $305,8 \pm 2,2$ млн лет (см. рис. 7, 2а).

Ar-Ar изотопно-геохронологические исследования. Для датирования позднего этапа рудообразования выбрано два образца (с серицитом), содержащих полисульфидную минерализацию: в метасоматически изменённом андезитовом порфирите (244/4) и кварц-серицитовом метасоматите (ЮА-3), место отбора указано на рис. 1. Образец 244/4 (скв. 244, гл. 84,5 м) представляет собой серицитизированную и прокварцованную породу с реликтовыми порфировыми вкрапленниками плагиоклаза, опацицитизированными вкрапленниками темноцветных минералов, с небольшой примесью карбонатов, мелкой вкрапленностью сульфидов и тонкими (мощностью до 0,5 см) прожилками кварца-II (рис. 9, а). Ниже и выше по разрезу отмечаются прожилки кварца-II с обильной полисульфидной минерализацией [11]. Образец ЮА-3 (скв. 3, гл. 74,5 м) представляет собой кварц-серицитовый метасоматит с вкрапленной и прожилковой сульфидной минерализацией (см. рис. 9, б). По результатам датирования установлен возраст серицита из руд золото-малосульфидно-кварцевого этапа оруденения: $279,8 \pm 4,3$ млн лет (проба 244/3) и $279,6 \pm 1,9$ млн лет (проба ЮА-3).

Обсуждение. На основе проведённых авторами структурно-геологических, минералого-геохимических, изотопно-геохронологических и других видов исследований, а также данных предшествующих работ [7, 11, 16, 17, 28, 37] установлено, что месторождение Южные Ашалы в некоторых чертах аналогично объектам так называемого «орогенного» типа. Под «орогенными золоторуд-

ными месторождениями» в настоящее время понимаются объекты, происхождение которых связано с процессами орогенеза [42]. Их характерными особенностями являются приуроченность к структурам сжатия и сдвига, отчётливый структурный контроль и непосредственная связь с тектоническими аккреционно-коллизионными процессами, вызывающими появление метаморфогенных растворов [48]. Золото-сульфидное оруденение месторождения Южные Ашалы локализуется в зоне влияния субширотного Южного разлома (сдвиговая зона, см. рис. 2), который является частью трансрегионального Чингиз-Нарымского глубинного разлома и полностью соответствует вышеприведённым параметрам. При этом миграция метаморфогенного флюида происходит по зонам сдвига (shear zone) и/или в зоны гидравлических разрывов в породах с низкой прочностью, испытывающих растяжение.

Полученные по геолого-структурным исследованиям результаты позволяют охарактеризовать отдельные этапы становления и активизации тектонической структуры изученной площади.

Первый структурный этап – становление и развитие глобальной Чарской зоны сжатия северо-западного простирания и формирование локальных нарушений других направлений как структур, осложняющих эту зону. Данный ансамбль структур маркирует стадию орогенеза, которая сопровождается региональным метаморфизмом и способствует образованию минерализованных зон раннего рудного этапа.

Второй структурный этап – активизация северо-западных нарушений Чарской зоны. Образование региональных разломов широтной и меридиональной ориентировки. Формирование структур локального растяжения северо-западного и меридионального направлений, вмещающих магматические интрузивные образования, а также наклонные и пологие кварцевые жилы.

Третий структурный этап – активизация существующей разломной сети и формирование региональных разломов северо-восточ-



ного направления. Образование структур локального растяжения субширотных направлений, вмещающих интрузивные образования, субвертикальные кварцевые жилы. (Второй и третий структурные этапы сближены во времени, они характеризуют позднеорогенную стадию развития региона.)

Четвёртый структурный этап – активизация разломной сети. Формирование структур локального растяжения северо-восточного и меридионального направлений, несущих кварц-карбонатную минерализацию на посторогенной стадии развития региона.

В целом орогенные золоторудные месторождения образуются в широком диапазоне физико-химических условий. В то же время многие вопросы генезиса орогенных месторождений до конца не ясны. К примеру, только на формирование рудоносных гидротермальных растворов существует несколько точек зрения: дегазация синорогенных магматических расплавов, дегидратация глубинных метаморфических пород, метеорные воды, дегидратация пород при динамометаморфизме, поступление мантийных флюидов [6, 40]. Так же обстоит дело и с источниками рудных компонентов: чаще всего предполагается их поступление непосредственно из вмещающего субстрата – пород, подверженных тектоническим деформациям и метаморфизму, за счёт выщелачивания флюидами, циркулирующими в проницаемых тектонических зонах, воздействия синколлизийных магматических тел, либо за счёт ремобилизации элементов ранних золотоносных комплексов, подвергшихся тектогенезу, поскольку связь орогенных месторождений с магматическими комплексами нередко отсутствует [52, 54, 55].

Формирование вкрапленности пирита и игольчатого золотоносного арсенопирита на раннем золото-сульфидном этапе, а также преобразование УВ в углеродистых терригенно-осадочных породах буконьской свиты происходили синхронно в условиях зеленосланцевой–цеолитовой фаций регионального метаморфизма при температуре 384...241 °C [11]. Температура гомогенизации флюидных включений в кварце позднего этапа (338...147 °C) частично перекрывается с температу-

рой преобразования УВ в породах буконьской свиты (рис. 10). Это указывает на то, что образование минеральных ассоциаций раннего золото-сульфидного и позднего золото-малосульфидно-кварцевого этапов могло происходить в едином или одинаковом температурном поле и на близкой к поверхности глубине.

Соотношение стабильных изотопов различных элементов широко применяется для определения источника рудного вещества на месторождениях полезных ископаемых. Наиболее детально систематика изотопов серы применительно к генезису рудных месторождений рассмотрена в [49]. Обычно единичные данные нельзя интерпретировать однозначно [32]. Однако по полученным нами результатам можно сделать некоторые общие выводы.

Диagenетический пирит (Py-I) с повышенным содержанием золота и других элементов [11] имеет отрицательные значения $\delta^{34}\text{S}$ (–7 ‰), что, по-видимому, является результатом восстановления сульфатных ионов анаэробными бактериями. Изотопный состав углерода в УВ, имеющий значение $\delta^{13}\text{C}$ = –20,77 ‰, соответствует осадочному органическому углероду. Метаморфогенный пирит (Py-II), обогащённый Au, Ag (микровключения) и As [11], тем не менее имеет значения $\delta^{34}\text{S}$ от 1,6 до 4,3 ‰, близкие к глубинному источнику [30].

Зачастую месторождения, локализующиеся в углеродисто-терригенных толщах, парагенетически связаны с коллизийным (постколлизийным) магматизмом, что подтверждается геологическими и геохронологическими данными, например, месторождения Кумтор, Мурунтау и др. [21, 46]. Однако роль магматических пород в качестве возможного источника золота до сих пор дискуссионна [2, 3]. На месторождениях ЗКЗП отмечается парагенетическая связь золотого оруденения с дайками и малыми телами габбро-плагиогранитной серии, относимой по возрасту и составу к кунушскому [4, 13, 36, 53] и аргимбайскому [23] комплексам. Внедрение массивов альбитофир-сиенит-порфирового (309,1 ± 2,1 млн лет) и гранодиорит-порфирового

Таблица 3. Результаты U-Pb изотопных исследований цирконов из гранодиорита (Ash-48) и гранодиорит-порфира (An-1/1) месторождения Южные Ашалы

Table 3. Results of U-Pb isotope studies of zircons from granodiorite (Ash-48) and granodiorite-porphyr (An-1/1) of the Southern Ashaly deposit

№ п/п	№ пробы, точки	Th/U	Концентрация, г/г			Изотопные отношения				Возраст, млн лет				D, %
			U	²³² Th	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
1	An-1/1,1	0,89	259,95	230,76	10,90	0,3562	0,0103	0,0480	0,0011	0,78	7,7	309,4	6,6	2,3
2	An-1/1,2	0,87	276,09	240,94	11,67	0,3417	0,0097	0,0484	0,0011	0,79	7,3	298,5	6,7	-2,1
3	An-1/1,3	0,31	284,39	87,04	12,10	0,3538	0,0096	0,0487	0,0011	0,82	7,2	307,6	6,7	0,3
5	An-1/1,6	0,51	437,24	220,82	18,66	0,3562	0,0091	0,0489	0,0011	0,88	6,8	309,4	6,7	0,6
6	An-1/1,7	0,48	223,60	106,35	11,41	0,3568	0,0142	0,0469	0,0011	0,58	10,6	309,8	6,7	4,8
7	An-1/1,8	0,34	279,52	96,02	11,69	0,3549	0,0096	0,0479	0,0011	0,83	7,2	308,4	6,6	2,2
8	An-1/1,9	0,63	235,50	148,75	9,98	0,3479	0,0099	0,0486	0,0011	0,79	7,4	303,2	6,7	-0,8
9	An-1/1,10	0,39	212,90	83,11	8,76	0,3466	0,0104	0,0471	0,0011	0,75	7,8	302,1	6,5	1,8
10	An-1/1,11	0,57	316,48	179,04	13,23	0,3577	0,0101	0,0479	0,0011	0,79	7,6	310,5	6,6	3,0
11	An-1/1,12	0,54	179,98	97,63	7,51	0,3532	0,0106	0,0478	0,0011	0,75	8,0	307,1	6,6	2,0
12	An-1/1,13	0,30	159,61	47,25	6,72	0,3526	0,0107	0,0482	0,0011	0,74	8,0	306,7	6,7	1,0
13	An-1/1,14	0,32	230,84	73,55	10,06	0,3632	0,0110	0,0499	0,0011	0,74	8,2	314,6	6,9	0,2



Окончание таблицы 3

№ п/п	№ пробы, точки	Th/U	Концентрация, г/г			Изотопные отношения					Возраст, млн лет			
			U	²³² Th	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	D, %
14	An-1/1,15	0,27	193,67	52,29	8,12	0,3517	0,0104	0,0481	0,0011	0,76	306,0	7,8	302,6	1,1
15	An-1/1,16	0,89	271,02	241,46	11,49	0,3600	0,0103	0,0486	0,0011	0,78	312,2	7,7	305,7	2,1
16	An-1/1,17	0,36	395,77	141,93	16,37	0,3528	0,0094	0,0474	0,0011	0,84	306,8	7,0	298,5	2,8
1	Ash-48,3	1,08	550,58	592,32	23,47	0,3513	0,0092	0,0488	0,0011	0,88	305,7	6,9	307,4	-0,6
2	Ash-48,4	1,04	359,43	372,47	15,34	0,3570	0,0098	0,0489	0,0011	0,83	310,0	7,3	307,7	0,7
3	Ash-48,5	1,04	358,10	371,18	15,20	0,3544	0,0100	0,0486	0,0011	0,82	308,0	7,5	306,1	0,6
4	Ash-48,6	0,25	228,43	56,90	9,92	0,3642	0,0108	0,0497	0,0012	0,78	315,3	8,1	312,9	0,8
5	Ash-48,9	0,59	303,30	179,38	12,83	0,3539	0,0101	0,0485	0,0011	0,80	307,6	7,6	305,2	0,8
6	Ash-48,10	0,50	119,43	59,55	5,07	0,3523	0,0121	0,0486	0,0011	0,68	306,4	9,1	306,1	0,1
7	Ash-48,12	0,22	365,95	80,21	15,71	0,3593	0,0099	0,0492	0,0011	0,82	311,7	7,4	309,4	0,7
8	Ash-48,14	0,82	343,84	282,88	14,78	0,3579	0,0101	0,0493	0,0011	0,81	310,7	7,6	309,9	0,3
9	Ash-48,15	0,43	126,22	54,89	5,44	0,3559	0,0120	0,0494	0,0011	0,68	309,2	9,0	310,6	-0,5
10	Ash-48,16	0,79	216,18	170,61	9,29	0,3619	0,0108	0,0492	0,0011	0,77	313,6	8,0	309,8	1,2
11	Ash-48,19	1,03	341,92	353,77	14,84	0,3538	0,0101	0,0497	0,0011	0,79	307,6	7,6	312,7	-1,6

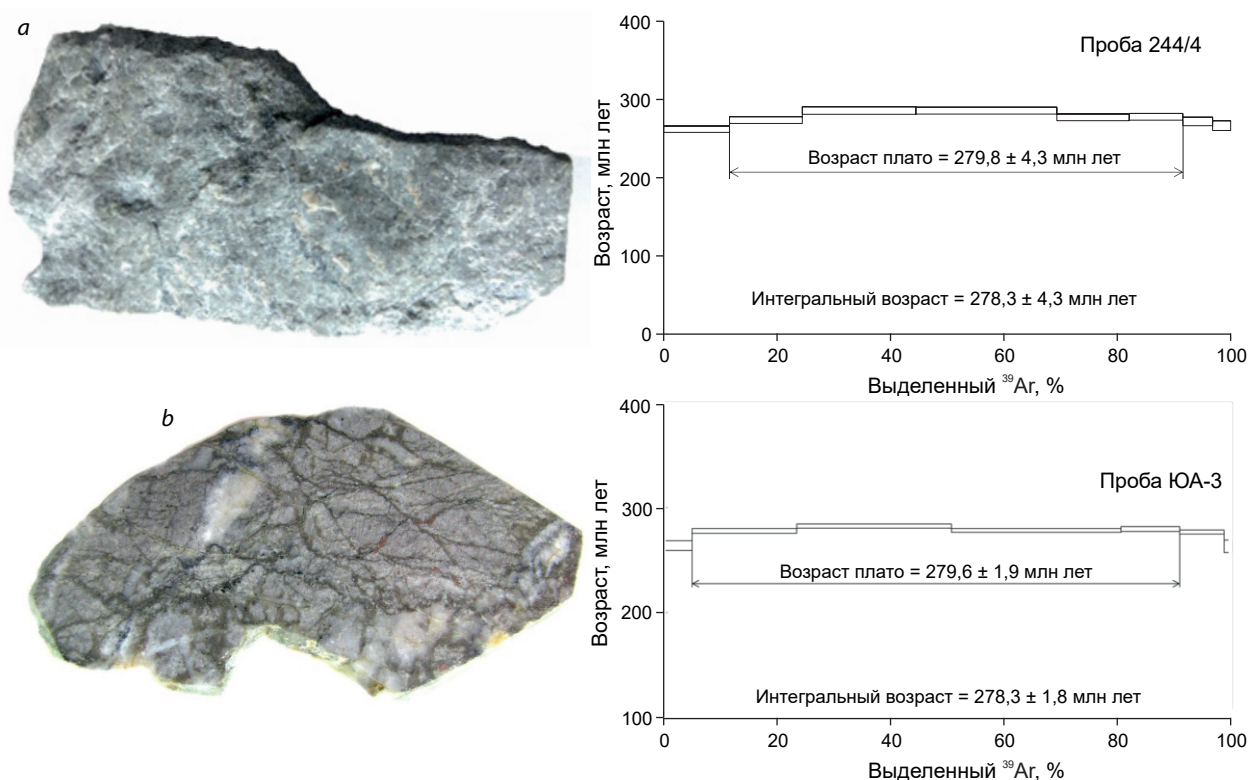


Рис. 9. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования серицита из кварц-серицитовых метасоматитов с вкрапленной и прожилковой сульфидной минерализацией золото-малосульфидно-кварцевого этапа

Fig. 9. Results of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of sericite from quartz-sericite metasomatites with disseminated and veinlet sulfide mineralization of the gold-low-sulfide-quartz stage

($305,8 \pm 2,2$ млн лет) состава, вероятно, произошло за счёт процессов посторогенного растяжения литосферы, что вполне согласуется с данными С. В. Хромых [33].

Исходя из полученных геохронологических данных, можно констатировать временной отрыв (около 25 млн лет) золото-малосульфидно-кварцевого оруденения позднего этапа ($279,2$ – $278,3$ млн лет) от времени становления интрузивных массивов альбитофирсиенит-порфирового ($309,1 \pm 2,1$ млн лет) и гранодиорит-порфирового ($305,8 \pm 2,2$ млн лет) состава. Приблизительно такой отрыв во времени наблюдается и на других месторождениях, например, Кумтор [46], Жерек [18] и других. Рудообразование на месторождениях ЗКЗП укладывается в несколько разновременных этапов [16, 18, 20, 24, 44, 45, 47], каждый из которых может быть сопоставлен по времени с определённым магматическим

комплексом. Исходя из возраста серицита поздней рудной ассоциации и её геохимической Co-Ni-Cr-As специализации, можно предположить, что образование золото-малосульфидно-кварцевых руд на месторождении Южные Ашалы параллелизуется по времени с внедрением интрузий аргимбайского и/или максутского комплексов с возрастом 280 – 293 млн лет [34], вероятно, скрытых на глубине. Ранее [24] отмечали временную близость золото-сульфидных руд ЗКЗП с Максутским пикрит-диабазовым массивом, с которым связано Cu-Ni оруденение.

Базируясь на результатах геолого-структурных, минералогических, геохимических, изотопно-геохимических, изотопно-геохронологических и термобарогеохимических исследований, предлагается следующая структурно-вещественная модель образования месторождения Южные Ашалы, увязывающая

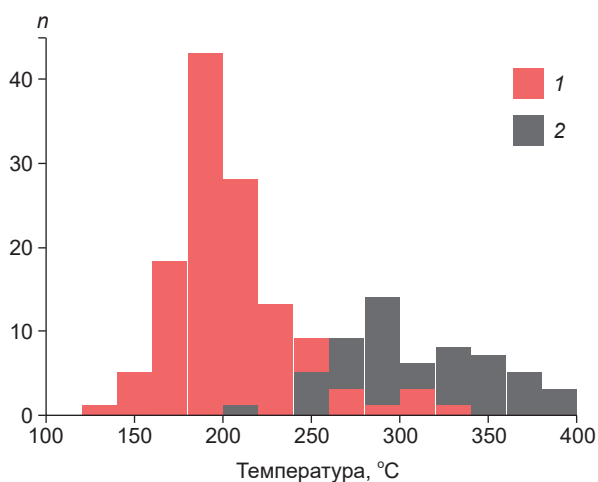


Рис. 10. Температуры гомогенизации ФВ (L2) в кварце II–III генераций кварц-кальцитовых прожилков позднего золото-малосульфидно-кварцевого этапа (1); температуры образования УВ в породах буконьской свиты (2)

Fig. 10. Homogenization temperatures of FI (L2) in quartz of II–III generation from quartz-calcite veinlets of the late gold-low-sulfide-quartz stage (1); temperatures of hydrocarbon formation in rocks of the Bukon Formation (2)

рудные этапы с известными геодинамическими режимами в истории региона (рис. 11).

I этап – седиментогенный (~325–320 млн лет, соответствующий раннеорогенной стадии по [33]). На ранней стадии в лагунно-континентальных условиях происходит накопление углеродистой терригенно-осадочной толщи буконьской свиты (C_2bk), при этом образуется фрамбоидальный (Py-Ia) и округлый пирит (Py-Iб), последний обогащён Au (до 10 г/т), W, Mg, Mn, Cr, Mo, Bi, Pb, Co, V, Tl, Ti и Sb (см. рис. 11, а). Изотопный состав серы сульфидов ($\delta^{34}S = -7\text{‰}$) соответствует обстановке осадконакопления.

II этап – метаморфогенный (~320–315 млн лет, орогенная стадия по [33]). В результате позднего диагенеза и метаморфизма (зеленосланцевая фация) золотосодержащих пород буконьской свиты формируются вкрапленные золото-сульфидные руды (первый рудный этап). Образуется удлинённый пористый агрегат пирита (Py-Iв), который впоследствии

обрастает эвгедральным пиритом (Py-IIa и Py-IIб) и игольчатым арсенопиритом (Apy-I). Во вкрапленных зёрнах пирита от ядер (Py-Iв) к периферии (Py-IIб) уменьшается количество микровключений золота, концентрации Pb, Bi, Co, Ag, Sb, а также увеличивается содержание As, V, Tl. Метаморфическое преобразование пород вызвано коллизионными событиями, которые сопровождаются пликтивными и разрывными (Даубайский разлом) деформациями при сжатии северо-западного простирания (первый структурный этап, см. рис. 11, б). Предполагается, что возраст метаморфизма соответствует возрасту орогенеза, который оценивается в $330 \pm 5 \dots 310 \pm 5$ млн лет [33].

III этап – вулканогенный (~315–310 млн лет, позднеколлизионная стадия по [33]). Образуется Сарыжал-Даубайский вулканический прогиб (см. рис. 11, с), нижняя часть которого представлена базальтами и андезибазальтами с возрастом 311 ± 2 млн лет [35]. Данное событие, вероятно, является индикатором коллапса орогенного сооружения [33].

IV этап – плутоногенный (~310–298 млн лет, постколлизионная стадия по [33]). Внедрение даек и малых интрузий гранитоидного состава по долгоживущим разломным структурам локального растяжения северо-западного и меридионального направлений (второй структурный этап, см. рис. 11, д). Здесь следует подчеркнуть, что II, III и IV этапы сближены во времени.

V этап – гидротермальный-I (~284–276 млн лет, посторогенная стадия по [33]). Подновление разломов восточного (крутопадающие) и север-северо-восточного (пологие) простирания (третий структурный этап), по которым поступают рудоносные флюиды, формирующие золото-малосульфидно-кварцевый тип руд (второй рудный этап, см. рис. 11, е). Непосредственный источник флюидов пока не известен.

VI этап – гидротермальный-II (~260–254 млн лет [17, 47], посторогенная стадия по [33]). Пострудная активизация разломов различных направлений, которые секут рудные жилы и интрузивные массивы (че-

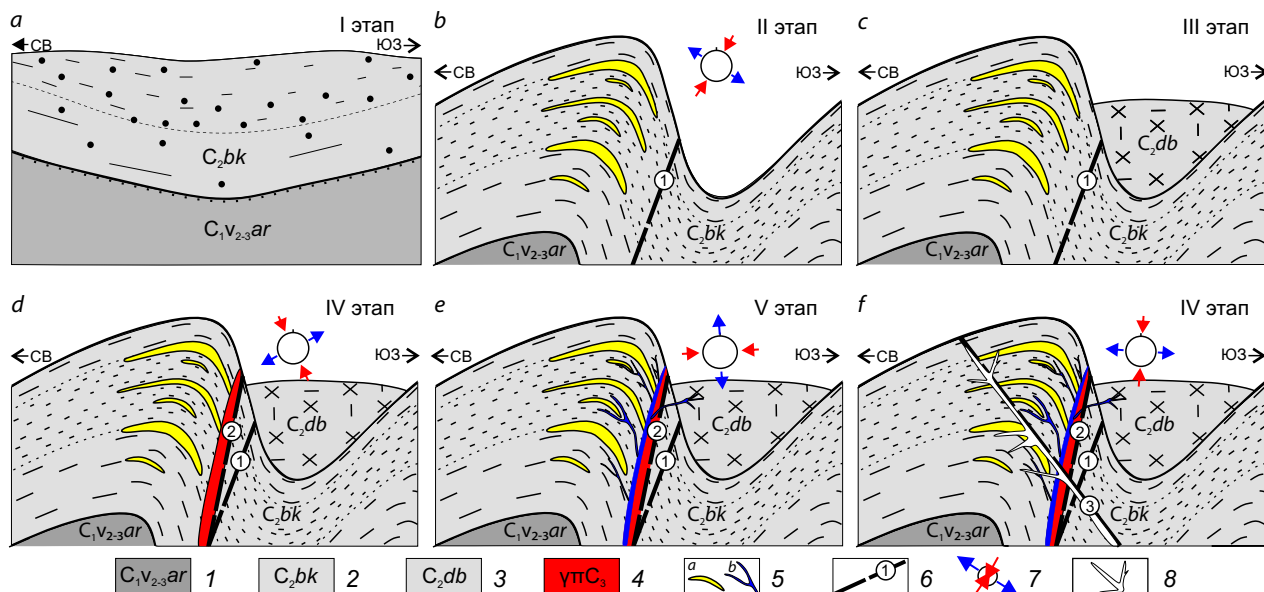


Рис. 11. Схематическая структурно-вещественная модель образования месторождения Южные Ашалы:

a – I этап. Осадконакопление и ранний диагенез; *b* – II этап. Поздний диагенез и/или метаморфизм, сопровождающийся пликативными и дизъюнктивными (Даубайский разлом) дислокациями, в результате образуются вкрапленные золото-сульфидные руды; *c* – III этап. Эффузивный магматизм; *d* – IV этап. Интрузивный магматизм, контролируемый разломами северо-восточного и широтного (Южный разлом) простираний; *e* – V этап. Гидротермальная деятельность, контролируемая в целом разломами восточного и север-северо-восточного простирания, в результате чего образуются золото-малосульфидно-кварцевые руды; *f* – VI этап. Пострудная гидротермальная деятельность (меридиональные разломы). 1–3 – вмещающие породы: 1 – аркалыкская свита ($C_{1v_{2-3}ar}$), не выходящая на поверхность, 2 – буконьская свита (C_{2bk}), 3 – даубайская свита (C_{2db}); 4 – гранитоиды кунушского комплекса; 5 – золотоносные типы руд: *a* – золото-сульфидные, *b* – золото-малосульфидно-кварцевые; 6 – разломы, номер в кружке: 1 – северо-западного простирания (Даубайский), 2 – северо-восточного и широтного простирания (Южный), 3 – субмеридионального простирания (отдельные трещины и пострудные жилы); 7 – направление структурных деформаций

Fig. 11. Schematic structural-compositional model of genesis of the Southern Ashaly deposit:

a – Stage I. Sedimentation and early diagenesis; *b* – Stage II. Late diagenesis and/or metamorphism, accompanied by plicative and disjunctive (Daubai fault) dislocations, resulting in formation of the disseminated gold-sulfide ores; *c* – Stage III. Effusive magmatism; *d* – Stage IV. Intrusive magmatism controlled by the faults of north-eastern and latitudinal (Southern fault) strikes; *e* – Stage V. Hydrothermal activity generally controlled by the faults of eastern and north-north-eastern strikes, resulting in formation of the gold-low-sulfide-quartz ores; *f* – Stage VI. Post-ore hydrothermal activity (meridional faults).

Legend: 1–3 – host rocks: 1 – Arkalyk Formation ($C_{1v_{2-3}ar}$), not outcropping at the surface, 2 – Bukon Formation (C_{2bk}), 3 – Daubai Formation (C_{2db}); 4 – granitoids of the Kunush Suite; 5 – gold-bearing ore types: *a* – gold-sulfide, *b* – gold-low-sulfide-quartz; 6 – faults (numbers in the circles): 1 – northwest-trending (Daubai), 2 – north-east and latitudinal strikes (Yuzhny), 3 – submeridional strike (individual cracks and post-ore veins); 7 – direction of structural deformations

твёрдый структурный этап) и сопровождаются кварц-карбонатными прожилками (см. рис. 11, *f*).

Заключение. Результаты геолого-структурных исследований позволили выделить и охарактеризовать четыре этапа формирова-

ния и активизации тектонической структуры Даубай-Ашалинского рудного поля, обусловленные изменением ориентировок осей главных нормальных напряжений. Локализация раннего (золото-сульфидного) оруденения месторождения Южные Ашалы, рас-



положенного в зоне влияния субширотного Южного разлома (сдвиговой зоны), не противоречит метаморфогенному способу образования. Руды золото-малосульфидно-кварцевого типа образованы в посторогенный (~284–276 млн лет) гидротермальный этап, характеризующийся широким диапазоном физико-химических параметров. Непосредственный источник флюидов дискусионен.

Изотопный состав серы пирита-I отвечает осадочному источнику ($\delta^{34}\text{S} = -7 \text{ ‰}$), а для более поздних пирита-II и арсенопирита-I определены значения $\delta^{34}\text{S} = 1,6\text{--}4,3 \text{ ‰}$, соответствующие глубинному источнику. U-Pb методом (LA-ICP-MS) определён возраст цирконов из альбитофир-сиенит-порфирового и гранодиорит-порфирового массивов, который составляет $309,1 \pm 2,1$ и $305,8 \pm 2,2$ млн лет

соответственно, а возраст образования серицита из руд позднего золото-малосульфидно-кварцевого типа оруденения – $279,8 \pm 4,3$ и $279,6 \pm 1,9$ млн лет (Ar/Ar метод).

Сопоставимое по ряду признаков с типичными месторождениями «орогенного» типа месторождение Южные Ашалы имеет и некоторую специфику (перенос и переотложение рудообразующих компонентов разнообразными типами флюидов при формировании рудных залежей, значительный временной отрыв гидротермального оруденения от проявлений магматизма и др.), что позволяет относить его к метаморфогенно-гидротермальному генетическому классу.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400237-8) и ИЗК СО РАН.

Список литературы

1. *Ананьев Ю. С.* Золото-концентрирующие системы южного складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты (на примере Западной Калбы): дисс. доктора геол.-минер. наук. – Томск : ТПУ, 2017. – 509 с.
2. *Арифюлов Ч. Х.* К вопросу об условиях образования крупнообъемных черносланцевых золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2014. – № 2. – С. 5–19.
3. *Барышев А. Н.* Тектоника и металлогения: системный геодинамический и формационный анализ. – М. : Новый хронограф, 2013. – 112 с.
4. *Беспяев Х. А., Любецкий В. Н., Любецкая Л. Д., Мукаева А. Е.* Особенности металлогении Западно-Калбинского золоторудного пояса // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2013. – № 5 (401). – С. 13–20.
5. *Борисенко А. С.* Анализ солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. – М. : Недра, 1982. – С. 37–47.
6. *Бортников Н. С.* Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. – 2006. – Т. 48 (1). – С. 3–28.
7. *Ваулин О. В.* Восточно-Казахстанская область / Золото. Справочник. – Бишкек : РОКИЗОЛ, 2016. – С. 285–287.
8. *Геологическая карта СССР.* Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист М-(44), 45 – Усть-Каменогорск. – Л. : ВСЕГЕИ, 1980.
9. *Гзовский М. В.* Основы тектонофизики. – М. : Наука, 1975. – 536 с.
10. *Гладков А. С., Семинский К. Ж.* Нетрадиционный анализ поясов трещиноватости при картировании субгоризонтальных разломных зон (на примере окрестностей г. Иркутска) // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 2. – С. 213–220.
11. *Греку Е. Д., Калинин Ю. А., Сердюков А. Н., Наумов Е. А., Боровиков А. А., Рагозин А. Л., Гладков А. С.* Минералого-геохимические особенности и золотоносность пирита и арсенопирита золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан) // Руды и металлы. – 2024. – № 4. – С. 5–36.
12. *Данилович В. Н.* Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. – Иркутск, 1961. – 48 с.
13. *Дьячков Б. А., Айтбаева С. С., Амралинова Б. Б., Ойцева Т. А.* Особенности вещественного состава и рудоносности плагиогранитов кунушко-



- го комплекса (Восточный Казахстан) // Вестник ВКГТУ. – 2017. – № 3. – С. 33–40.
14. Дьячков Б. А., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А. и др. Типы золоторудных месторождений Восточного Казахстана. – Усть-Каменогорск : ВКГТУ, 2015. – 204 с.
15. Ермаков Н. П. Геохимические системы включений в минералах. – М. : Недра, 1972. – 376 с.
16. Калинин Ю. А., Гладков А. С., Боровиков А. А., Сухоруков В. П., Хусаинова А. Ш., Серебряков Е. В., Греку Е. Д. Изучение минералогического-геохимических особенностей руд месторождения Аномальное и структурные условия его локализации (Восточный Казахстан) // Окончательный отчет по договору № 69-21в от 27 апреля 2021 г. – Новосибирск, 2021ф. – 91 с.
17. Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Гладков А. С., Сухоруков В. П., Шелепаев Р. А., Боровиков А. А., Серебряков Е. В., Хусаинова А. Ш. Геолого-структурный контроль и особенности вещественного состава золотого оруденения Ашалинского и Даубайского рудных полей (Восточный Казахстан) // Окончательный отчет по договору № 83-18в от 11 июня 2018 г. – Новосибирск, 2019ф. – 155 с.
18. Калинин Ю. А., Наумов Е. А., Борисенко А. С., Ковалев К. Р., Антропова А. И. Пространственно-временные и генетические соотношения золоторудной и сурьмяной минерализации на золотосульфидных месторождениях Обь-Зайсанской складчатой зоны // Геология рудных месторождений. – 2015. – № 57 (3). – С. 179–194.
19. Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Наумов Е. А., Колесникова М. К., Корольюк В. Н. Золотоносность арсенопирита золото-сульфидных месторождений Восточного Казахстана // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 2. – С. 225–242.
20. Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Полюнов В. И., Кыдырбеков Е. Л., Борисенко А. С., Наумов Е. А., Нетесов М. И., Клименко А. Г., Колесникова М. К. Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах (Восточный Казахстан) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 305–328.
21. Костицын Ю. А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование // Геохимия. – 1996. – № 12. – С. 1123–1138.
22. Кутейников Е. С. Структурное дешифрирование при геологической съемке. Методические рекомендации / Науч. ред. Кумпан А. С., Немцович В. М. – Л. : 1981. – 25 с.
23. Наливаев В. И. Рудоконтролирующие структуры и принципы прогнозной оценки Акжал-Бокко-Ашалинского золоторудного района (Восточный Казахстан) / Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. – Алма-Ата : КазИМС, 1980. – С. 111–118.
24. Наумов Е. А., Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Борисенко А. С., Сельтманн Р. Изотопно-геохронологическая характеристика процессов рудотложения и магматизма на месторождениях золото-сульфидных вкрапленных руд в углеродисто-терригенных толщах юга Западной Сибири и Восточного Казахстана / Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. – М. : ИГЕМ РАН, 2012. – С. 250–252.
25. Николаев П. Н. Методика тектонодинамического анализа. – М. : Недра, 1992. – 295 с.
26. Реддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2 т. / Пер. с англ. Д. Н. Хитарова; Под ред. Л. С. Бородин. – М. : Мир, 1987. – 1192 с.
27. Семинский К. Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. – Новосибирск : ГЕО, 2003. – 243 с.
28. Сердюков А. Н. Южные Ашалы – новое крупнообъемное месторождение золота в Восточном Казахстане // Инновационные разработки и совершенствования технологий в горно-металлургическом производстве: Материалы 5 Международной конференции. – Усть-Каменогорск : ВНИИцветмет, 2009. – Т. 1. – С. 67–70.
29. Сердюков А. Н., Соловьев С. А., Семилет А. В. Отчет о проведении поисково-оценочных работ на участках Ашалы-Даубайского рудного поля в 2017–2019 гг. – ТОО «GEO.KZ», 2019ф.
30. Скляр Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Иванов А. В., Летникова Е. Ф., Миронов А. Г., Бараш И. Г., Буланов В. А., Сизых А. И. Интерпретация геохимических данных. Учебное пособие. – М. : Интермет инжиниринг, 2001. – 288 с.
31. Травин А. В., Юдин Д. С., Владимиров А. Г., Хромых С. В., Волкова Н. И., Мехоношин А. С., Колотилина Т. Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. – 2009. – № 11. – С. 1181–1199.



32. Фор Г. Основы изотопной геологии / Пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
33. Хромых С. В. Базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм как отражение стадий развития Алтайской аккреционно-коллизонной системы (Восточный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 3. – С. 330–355.
34. Хромых С. В., Владимиров А. Г., Изох А. Э., Травин А. В., Прокопьев И. Р., Азимбаев Е., Лобанов С. С. Петрология и геохимия габброидов и пикритоидов Алтайской коллизонной системы герценид: свидетельства активности Таримского плюма // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54 (10). – С. 1648–1667.
35. Хромых С. В., Семенова Д. В., Котлер П. Д., Гурова А. В., Мехеев Е. И., Перфилова А. А. Орогенный вулканизм Восточного Казахстана: состав пород, возраст и геодинамическая эволюция региона // Геотектоника. – 2020. – № 4. – С. 63–83.
36. Щерба Г. Н., Беспяев Х. А., Дьячков Б. А., Мыслик А. М., Ганженко Г. Д., Сапаргалиев Е. М. Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
37. Baibatsha A. B., Dyussembaeva K. Sh., Kassanova A. Microscopic studies of gold deposit Southern Ashaly in Eastern Kazakhstan // Advanced Materials Research. – 2013. – V. 828. – P. 1–10.
38. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions / De Vivo B., Frezzotti M. L., eds. Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications. – Blacksburg : Virginia Tech, 1994. – P. 117–130.
39. Delvaux D., Spermer B. Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program / New Insights into Structural Interpretation and Modelling (D. Nieuwland ed.). – Geological Society, London, Special Publications. – 2003. – V. 212. – P. 75–100.
40. Goldfarb R. J., Groves D. I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time // Lithos. – 2015. – V. 233. – P. 2–26.
41. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: Data reduction software for laser ablation ICP-MS / Sylvester, P. (ed.), Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. – 2008. – V. 40. – P. 307–311.
42. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., Hagemann S. G., Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geol. Rev. – 1998. – V. 13, № 1. – P. 7–27.
43. Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma mass-spectrometry to in-situ U–Pb zircon geochronology // Chemical Geology. – 2004. – V. 211. – P. 47–69.
44. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Serdyukov A. N., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Naumov E. A., Travlin A. V., Semenova D. V., Serebryakov E. V., Greku E. D. Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system) // Geodynamics & Tectonophysics. – 2021. – V. 12 (2). – P. 392–408.
45. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Pirajno F., Borisenko A. S. A mineralogical study of the Suzdal sediment-hosted gold deposit, Kazakhstan: implications for ore genesis // Ore Geology Reviews. – 2009. – V. 35, № 2. – P. 186–206.
46. Mao J., Konopelko D., Seltnmann R., Lehmann B., Chen W., Wang Y., Eklund O., Usualiev T. Postcollisional Age of the Kumtor Gold Deposit and Timing of Hercynian Events in the Tien Shan, Kyrgyzstan // Economic Geology. – 2004. – V. 99, № 8. – P. 1771–1780.
47. Naumov E., Borisenko A., Kovalev K., Kalinin Yu., Fedoseev G., Travlin A. Age of gold mineralization in Western Siberia and Eastern Kazakhstan / Society of Economic Geologists 2010 Conference. – Keystone, 2010. – P. A–41.
48. Phillips G. N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. – 2010. – № 28. – P. 689–718.
49. Rye R. O., Ohmoto H. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review // Economic Geology. – 1974. – V. 69, № 6. – P. 826–842.
50. Sláma J., Košler J., Condon D. J., Crowley J. L., Gerdes A., Hanchar J. M., Whitehouse M. J. Plešovice zircon – a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis // Chemical Geology. – 2008. – № 249 (1–2). – P. 1–35.

51. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I. The large Bakyrchik orogenic gold deposit, Eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics // *Ore Geology Reviews*. – 2020. – V. 127. – 103863.
52. Vielreicher N. M., Ridley J. R., Groves D. I. Marymia: an Archean, amphibolite facies-hosted, orogenic lode-gold deposit overprinted by Palaeoproterozoic orogenesis and base metal mineralisation, Western Australia // *Mineralium Deposita*. – 2002. – V. 37. – P. 737–764.
53. Vladimirov A. G., Kruk N. N., Khromykh S. V., Polyansky O. P., Chervov V. V., Vladimirov V. G., Tra-
vin A. V., Babin G. A., Kuibida M. L., Khomyakov V. D. Permian magmatism and lithospheric deformation in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes // *Russian Geology and Geophysics*. – 2008. – V. 49. – P. 468–479.
54. Zoheir B. A. Characteristics and genesis of shear zone-related gold mineralization in Egypt: a case study from the Um El Tuyor mine, south Eastern Desert // *Ore Geology Reviews*. – 2008. – V. 34, № 3. – P. 445–470.
55. Zoheir B. A. Lode-gold mineralization in convergent wrench structures: Examples from South Eastern Desert, Egypt // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2012. – V. 114. – P. 82–97.

References

1. Anan'ev Yu. S. Zoloto-koncentriruyushchie sistemy yuzhnogo skladchatogo obramleniya Zapadno-Sibirskoi plity (na primere Zapadnoi Kalby): diss. doktora geol.-miner. nauk [Gold-concentrating systems of the southern folded frame of the West Siberian Plate (on the example of Western Kalba): doctoral diss. of geol.-miner. sciences], Tomsk, TPU Publ., 2017, 509 p.
2. Arifulov Ch. Kh. K voprosu ob usloviyakh obrazovaniya krupnoob'emnykh chernoslantsevyykh zolotorudnykh mestorozhdenii [On the formation conditions of large-volume black shale gold deposits], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2014, No 2, pp. 5–19. (In Russ.)
3. Baryshev A. N. Tektonika i metallogeniya: sistemnyi geodinamicheskii i formatsionnyi analiz [Tectonics and metallogeny: systems geodynamic and formation analysis], Moscow, Novyy khronograf Publ., 2013, 112 p.
4. Bespayev Kh. A., Lyubetskii V. N., Lyubetskaya L. D., Mukaeva A. E. Osobennosti metallogenii Zapadno-Kalbinskogo zolotorudnogo poyasa [Features of the metallogeny of the West Kalbinsky gold ore belt], *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk* [Bulletin of the Kazakhstan Academy of Sciences, Series of geology and technical sciences], 2013, No 5 (401), pp. 13–20. (In Russ.)
5. Borisenko A. S. Analiz solevogo sostava rastvorov gazovo-zhidkikh vklucheni v mineralakh metodom kriometrii [Analysis of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometry method], *Ispol'zovanie metodov termobarogeokhimii pri poiskakh i izuchenii rudnykh mestorozhdenii* [Use of thermobarogeochemistry methods in prospecting and studying of ore deposits], Moscow, Nedra Publ., 1982, pp. 37–47.
6. Bortnikov N. S. Geokhimiya i proiskhozhdenie rudobrazuyushchikh flyuidov v gidrotermalno-magmatischeskikh sistemakh v tektonicheski aktivnykh zonakh [Geochemistry and origin of ore-forming fluids in hydrothermal-magmatic systems in tectonically active zones], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2006, V. 48 (1), pp. 3–28. (In Russ.)
7. Vaulin O. V. Vostochno-Kazakhstanskaya oblast [East Kazakhstan oblast], Zoloto. Spravochnik [Gold. Handbook], Bishkek, ROKIZOL Publ., 2016, pp. 285–287.
8. Geologicheskaya karta SSSR, masshtab 1 : 1 000 000 (novaya seriya). Ob'yasnitel'naya zapiska. List M-(44), 45 – Ust-Kamenogorsk. [Geological map of the USSR. Scale 1 : 1 000 000 (new series). Explanatory note. Sheet M-(44), 45 – Ust-Kamenogorsk], Leningrad, VSEGEI Publ., 1980.
9. Gzovskii M. V. Osnovy tektonofiziki [Fundamentals of tectonophysics], Moscow, Nauka Publ., 1975, 536 p.
10. Gladkov A. S., Seminskii K. Zh. Netraditsionnyi analiz poyasov treshchinovatosti pri kartirovani subgorizontalnykh razlomnykh zon (na primere okrestnostei g. Irkutska) [Unconventional analysis of fracture belts when mapping subhorizontal fault



- zones (using the example of the environs of Irkutsk)], *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 1999, V. 40, No 2, pp. 213–220. (In Russ.)
11. Greku E. D., Kalinin Yu. A., Serdyukov A. N., Naumov E. A., Borovikov A. A., Ragozin A. L., Gladkov A. S. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti i zolotonosnost' piritov i arsenopiritov zolotorudnogo mestorozhdeniya Yuzhnye Ashaly (Vostochnyi Kazakhstan) [Mineralogical and geochemical peculiarities and gold content of pyrite and arsenopyrite of the Southern Ashaly gold deposit (East Kazakhstan)], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2024, No 4, pp. 5–36. (In Russ.)
 12. Danilovich V. N. Metod pojasov v issledovanii treshchinovatosti, svyazannoi s razryvnymi smeshcheniyami [Method of belts in the study of fracturing associated with rupture displacements], Irkutsk, 1961, 48 p.
 13. D'yachkov B. A., Aitbaeva S. S., Amralinova B. B., Oitseva T. A. Osobennosti veshchestvennogo sostava i rudonosnosti plagiogranitov kunushskogo kompleksa (Vostochnyi Kazakhstan) [Features of the material composition and ore content of plagiogranites of the Kunush complex (Eastern Kazakhstan)], *Vestnik VKGTU* [Bulletin of EKSTU], 2017, No 3, pp. 33–40. (In Russ.)
 14. D'achkov B. A., Kuz'mina O. N., Zimanovskaya N. A. et al. Tipy zolotorudnykh mestorozhdenii Vostochnogo Kazakhstana [Types of gold ore deposits in Eastern Kazakhstan], Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan State Technical University Publ., 2015, 204 p.
 15. Ermakov N. P. Geokhimicheskie sistemy vklucheniya v mineralakh [Geochemical systems of inclusions in minerals], Moscow, Nedra Publ., 1972, 376 p.
 16. Kalinin Yu. A., Gladkov A. S., Borovikov A. A., Sukhorukov V. P., Khusainova A. Sh., Serebryakov E. V., Greku E. D. Izuchenie mineralogo-geokhimicheskikh osobennostei rud mestorozhdeniya Anomal'noe i strukturnye usloviya ego lokalizatsii (Vostochnyi Kazakhstan) [Study of the mineralogical and geochemical features of the ores of the Anomal'noe deposit and the structural conditions of its localization (Eastern Kazakhstan)], *Okonchatel'nyi otchet po dogovoru № 69-21v ot 27 aprelya 2021 g.* [Final report under contract No 69-21v dated April 27, 2021], Novosibirsk, 2021f, 91 p.
 17. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Shelepayev R. A., Borovikov A. A., Serebryakov E. V., Khusainova A. Sh. Geologostrukturnyi kontrol' i osobennosti veshchestvennogo sostava zolotogo orudneniya Ashalinskogo i Daubayskogo rudnykh polei (Vostochnyi Kazakhstan) [Geological and structural control and features of the material composition of gold mineralization of the Ashalinsky and Daubaisky ore fields (Eastern Kazakhstan)], *Okonchatel'nyi otchet po dogovoru No 83-18v ot 11 iyunya 2018 g.* [Final report on contract No 83-18v dated June 11, 2018], Novosibirsk, 2019f, 155 p.
 18. Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Borisenko A. S., Kovalev K. R., Antropova A. I. Prostranstvenno-vremennye i geneticheskie sootnosheniya zolotorudnoi i sur'myanoi mineralizatsii na zolotosul'fidnykh mestorozhdeniyakh Ob'-Zaisanskoi skladchatoi zony [Spatio-temporal and genetic relationships of gold ore and antimony mineralization at gold-sulfide deposits of the Ob-Zaisan folded zone], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2015, No 57 (3). (In Russ.)
 19. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Kolesnikova M. K., Korolyuk V. N. Zolotonosnost' arsenopiritov zoloto-sul'fidnykh mestorozhdenii Vostochnogo Kazakhstana [Gold content of arsenopyrite at gold-sulfide deposits of Eastern Kazakhstan], *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2011, V. 52, No 2, pp. 225–242. (In Russ.)
 20. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Polynov V. I., Kydyrbekov E. L., Borisenko A. S., Naumov E. A., Netesov M. I., Klimenko A. G., Kolesnikova M. K. Suzdal'skoye zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie v chernoslantsevykh tolshchakh (Vostochnyi Kazakhstan) [Suzdal gold-sulfide deposit in black shale strata (Eastern Kazakhstan)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2012, V. 54, No 4, pp. 305–328. (In Russ.)
 21. Kostitsyn Yu. A. Rb-Sr izotopnye issledovaniya mestorozhdeniya Murantau. Magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie [Rb-Sr isotope studies of the Murantau deposit. Magmatism, metamorphism and ore formation], *Geokhimiya* [Geochemistry], 1996, No 12, pp. 1123–1138. (In Russ.)
 22. Kuteinikov E. S. Strukturnoe deshifirovanie pri geologicheskoi s'emke. Metodicheskie rekomendatsii [Structural interpretation during geological survey. Methodological recommendations], Leningrad, 1981, 25 p.

23. Nalivaev V. I. Rudokontroliruyushchie struktury i printsiipy prognoznnoi otsenki Akzhal-Boko-Ashalinskogo zolotorudnogo rayona (Vostochnyi Kazakhstan) [Ore-controlling structures and principles of predictive assessment of the Akzhal-Boko-Ashalinsky gold ore region (Eastern Kazakhstan)], *Usloviya formirovaniya i zakonornosti razmeshcheniya mestorozhdenii zolota Kazakhstana* [Conditions of formation and patterns of location of gold deposits in Kazakhstan], Alma-Ata, KazIMS Publ., 1980, pp. 111–118.
24. Naumov E. A., Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Borisenko A. S., Seltmann R. Izotopno-geokhronologicheskaya kharakteristika protsessov rudotolozheniya i magmatizma na mestorozhdeniyakh zoloto-sul'fidnykh vkraplennykh rud v uglerodistoterrigennykh tolshchakh yuga Zapadnoi Sibiri i Vostochnogo Kazakhstana [Isotope-geochronological characteristics of ore deposition and magmatism processes at deposits of gold-sulfide disseminated ores in carbonaceous-terrigenous strata of the south of Western Siberia and Eastern Kazakhstan], *Materialy V Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii*. [Proceedings of the V Russian Conference on Isotope Geochronology.], Moscow, IGEM RAS., 2012, pp. 250–252.
25. Nikolaev P. N. Metodika tektonodinamicheskogo analiza [Methodology of tectonodynamic analysis], Moscow, Nedra Publ., 1992, 295 p.
26. Roedder E. W. Flyuidnye vklyucheniya v mineralakh [Fluid inclusions in minerals], Moscow, Mir Publ., 1987, 1192 p.
27. Seminskii K. Zh. Vnutrennyaya struktura kontinental'nykh razlomnykh zon. Tektonofizicheskii aspekt [Internal structure of continental fault zones. Tectonophysical aspect], Novosibirsk, GEO Publ. 2003, 243 p.
28. Serdyukov A. N. Yuzhnye Ashaly – novoye krupnoob'emnoe mestorozhdenie zolota v Vostochnom Kazakhstane [Southern Ashali – a new large-volume gold deposit in Eastern Kazakhstan], *Innovatsionnye razrabotki i sovershenstvovaniya tekhnologii v gorno-metallurgicheskom proizvodstve: Materialy 5 Mezhdunarodnoi konferentsii* [Innovative developments and improvements in technologies in mining and metallurgical production: Proceedings of the 5th International Conference], Ust-Kamenogorsk, VNIITsvetmet, 2009, V. 1, pp. 67–70.
29. Serdyukov A. N., Solov'ev S. A., Semilet A. V. Otchet o provedenii poiskovo-otsenochnykh rabot na uchastkakh Ashaly-Daubayskogo rudnogo polya v 2017–2019 gg. [Report on prospecting and assessment work in areas of the Ashali-Daubay ore field in 2017–2019], GEO.KZ LLP, 2019.
30. Sklyarov E. V., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Ivanov A. V., Lyetnikova E. F., Mironov A. G., Barash I. G., Bulanov V. A., Sizykh A. I. Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh [Interpretation of geochemical data], Moscow, Internet Engineering Publ., 2001, 288 p.
31. Travin A. V., Yudin D. S., Vladimirov A. G., Khromykh S. V., Volkova N. I., Mekhonoshin A. S., Kolotilina T. B. Termokhronologiya Chernorudskoi granulitovoi zony (Olkhonskii region, Zapadnoe Priбайkal'e) [Thermochronology of the Chernorud granulite zone (Olkhon region, Western Baikal region)], *Geokhimiya* [Geochemistry], 2009, No 11, pp. 1181–1199. (In Russ.)
32. Faure G. Osnovy izotopnoi geologii [Fundamentals of isotope geology], Moscow, Mir Publ., 1989, 590 p.
33. Khromykh S. V. Bazitovyi i sopryazhennyi granitoidnyi magmatizm kak otrazhenie stadii razvitiya Altayskoy akkretionno-kollizionnoi sistemy (Vostochnyi Kazakhstan) [Basic and conjugate granitoid magmatism as a reflection of the stages of development of the Altay accretion-collision system (Eastern Kazakhstan)], *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2022, V. 63, No 3, pp. 330–355. (In Russ.)
34. Khromykh S. V., Vladimirov A. G., Izokh A. E., Travin A. V., Prokop'ev I. R., Azimbaev E., Lobanov S. S. Petrologiya i geokhimiya gabbroidov i pikritoidov Altayskoi kollizionnoi sistemy gertsenid: svidetelstva aktivnosti Tarimskogo plyuma [Petrology and geochemistry of gabbroids and picritoids of the Altai collisional system of the Herzenides: evidence of the Tarim plume activity], *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2013, V. 54 (10), pp. 1648–1667. (In Russ.)
35. Khromykh S. V., Semenova D. V., Kotler P. D., Gurova A. V., Mekheev E. I., Perfilova A. A. Orogennyi vulkanizm Vostochnogo Kazakhstana: sostav porod, vozrast i geodinamicheskaya evolyutsiya regiona [Orogenic volcanism of Eastern Kazakhstan: rock composition, age and geodynamic



- evolution of the region], *Geotektonika* [Geotectonics], 2020, No 4, pp. 63–83. (In Russ.)
36. Shcherba G. N., Bespaev Kh. A., D'yachkov B. A., Mysnik A. M., Ganzhenko G. D., Sapargaliev E. M. Bol'shoi Altai (geologiya i metallogeniya). Kniga 2. Metallogeniya [Great Altai (geology and metallogeny). Book 2: Metallogeny], Almaty, Quality Assurance in Education Committee of the Republic of Kazakhstan Publ., 2000, 400 p.
37. Baibatsha A. B., Dyusseмбаева K. Sh., Kassanova A. Microscopic studies of gold deposit Southern Ashaly in Eastern Kazakhstan, *Advanced Materials Research*, 2013, V. 828, pp. 1–10.
38. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications*, Blacksburg, Virginia Tech Publ., 1994, pp. 117–130.
39. Delvaux D., Sperner B. Stress tensor inversion from fault kinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program, *New Insights into Structural Interpretation and Modelling* (D. Nieuwland ed.), Geological Society, London, Special Publ., 2003, V. 212, pp. 75–100.
40. Goldfarb R. J., Groves D. I. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time, *Lithos*, 2015, V. 233, pp. 2–26.
41. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: Data reduction software for laser ablation ICP-MS / Sylvester, P. (ed.), *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues*: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 2008, V. 40, pp. 307–311.
42. Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M., Hagemann S. G., Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types, *Ore Geology Reviews*, 1998, V. 13, No 1, pp. 7–27.
43. Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma mass-spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology, *Chemical Geology*, 2004, V. 211, pp. 47–69.
44. Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Serdyukov A. N., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Naumov E. A., Travin A. V., Semenova D. V., Serebryakov E. V., Greku E. D. Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system), *Geodynamics & Tectonophysics*, 2021, V. 12 (2), pp. 392–408.
45. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Naumov E. A., Pirajno F., Borisenko A. S. A mineralogical study of the Suzdal sediment-hosted gold deposit, Kazakhstan: implications for ore genesis, *Ore Geol. Reviews*, 2009, V. 35, No 2, pp. 186–206.
46. Mao J., Konopelko D., Seltmann R., Lehmann B., Chen W., Wang Y., Eklund O., Usabaliev T. Postcollisional Age of the Kumtor Gold Deposit and Timing of Hercynian Events in the Tien Shan, Kyrgyzstan, *Economic Geology*, 2004, V. 99, No 8, pp. 1771–1780.
47. Naumov E., Borisenko A., Kovalev K., Kalinin Yu., Fedoseev G., Travin A. Age of gold mineralization in Western Siberia and Eastern Kazakhstan, *Society of Economic Geologists 2010 Conference*, Keystone Resort, Colorado, 2010.
48. Phillips G. N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model, *Journal of Metamorphic Geology*, 2010, No 28, pp. 689–718.
49. Rye R. O., Ohmoto H. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review, *Economic Geology*, 1974, V. 69, No 6, pp. 826–842.
50. Sláma J., Košler J., Condon D. J., Crowley J. L., Gerdes A., Hanchar J. M., Whitehouse M. J. Plešovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis, *Chemical Geology*, 2008, No 249 (1–2), pp. 1–35.
51. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I. The large Bakyrchik orogenic gold deposit, Eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics, *Ore Geol. Reviews*, 2020, V. 127.
52. Vielreicher N. M., Ridley J. R., Groves D. I. Marymia: an Archean, amphibolite facies-hosted, orogenic lode-gold deposit overprinted by Palaeoproterozoic orogenesis and base metal mineralisation, Western Australia, *Mineralium Deposita*, 2002, V. 37, pp. 737–764.
53. Vladimirov A. G., Kruk N. N., Khromykh S. V., Polyansky O. P., Chervov V. V., Vladimirov V. G.,



Travin A. V., Babin G. A., Kuibida M. L., Khomyakov V. D. Permian magmatism and lithospheric deformation in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes, *Russian Geology and Geophysics*, 2008, V. 49, pp. 468–479.

54. Zoheir B. A. Characteristics and genesis of shear zone-related gold mineralization in Egypt: a case

study from the Um El Tuyor mine, south Eastern Desert, *Ore Geol. Reviews.*, 2008, V. 34, No 3, pp. 445–470.

55. Zoheir B. A. Lode-gold mineralization in convergent wrench structures: Examples from South Eastern Desert, Egypt, *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, V. 114, pp. 82–97.

Греку Евгений Дмитриевич (grekued@igm.nsc.ru)
младший научный сотрудник ¹

Калинин Юрий Александрович
доктор геолого-минералогических наук, доцент, главный научный сотрудник ¹

Гладков Андрей Станиславович
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ²

Наумов Евгений Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук, первый заместитель генерального директора ³

Сердюков Александр Николаевич
ведущий геолог ⁴

Боровиков Андрей Александрович
кандидат геолого-минералогических наук

¹ Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия;

² Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия;

³ ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, Россия;

⁴ ТОО «К-ПЛЕЙСЕР», г. Семей, Республика Казахстан