

**AGE CONSTRAINTS AND METALLOGENIC PREDICTION OF GOLD DEPOSITS
IN THE AKZHAL-BOKO-ASHALIN ORE ZONE (ALTAI ACCRETION-COLLISION SYSTEM)****Yu.A. Kalinin** ^{1,2✉}, **K.R. Kovalev**¹, **A.N. Serdyukov**³, **A.S. Gladkov**⁴, **V.P. Sukhorukov** ^{1,2}, **E.A. Naumov**⁵,
A.V. Travin ^{1,2}, **D.V. Semenova**¹, **E.V. Serebryakov**⁴, **E.D. Greku**²

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptuyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

² Novosibirsk State University, 1 Pirogov St, Novosibirsk 630090, Russia

³ LLC GEOKZ, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

⁴ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

⁵ Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, 129–1 Varshavskoe Rte, Moscow 117545, Russia

ABSTRACT. We present new age constraints for igneous rocks and ore-metasomatic formations of the gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone. In terms of their ore formation, these deposits correspond mainly to the orogenic type, which generally reflects specific metallogeny of the West Kalba gold-bearing belt in East Kazakhstan. Gold-quartz veins and mineralized zones of the gold-sulphide formation are confined to fractures feathering regional NW-striking and sublatitudinal faults. Their common features include the following: gold-bearing veinlet-disseminated pyrite-arsenopyrite ores that are localized in carbonaceous-sandy-schist and turbidite strata of different ages; structural-tectonic control of mineralization, numerous dikes of medium-basic compositions in ore-control zones; and the presence of post-orogenic heterochronous granite-granodiorite rocks, although their relation to gold-ore mineralization is not obvious. Igneous rocks of the study area have similar ages in a narrow range from 309.1 ± 4.1 to 298.7 ± 3.2 Ma, which is generally consistent with the previously determined age of granitoid massifs of gold-ore fields in East Kazakhstan. A younger age (292.9 ± 1.3 to 296.7 ± 1.6 Ma) is estimated for felsic rocks of the dyke complex. For the ore mineralization, the $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating of sericite from near-ore metasomatites yields two age intervals, 300.4 ± 3.4 Ma and 279.8 ± 4.3 Ma. A gap between of the ages of the ore mineralization and the igneous rocks is almost 20 Ma, which may indicate that the processes of ore formation in the ore field continued in an impulse-like pattern for at least 20 Ma. Nevertheless, this confirms a relationship between the hydrothermal activity in the study area and the formation and evolution of silicic igneous rocks of the given age interval, which belong to the Kunush complex, according to previous studies. This interpretation is supported by reconstructed tectonic paleostress fields, showing that directions of the main normal stress axes changed during the ore mineralization stage, which is why the ore bodies significantly differ in their orientations. The above-mentioned data are the first age constraints for the study area. Additional age determinations are needed to further improve understanding of the chronology of ore-forming processes. Actually, all the features characterizing the gold mineralization of the Akzhal, Ashalin and Dauba ore fields, including the data on lithology, stratigraphy, structural tectonics, magmatism, isotope geochronology, mineralogy and geochemistry, can be used as criteria when searching for similar ore fields in East Kazakhstan.

KEYWORDS: West Kalba gold-bearing belt; East Kazakhstan; gold-ore deposit; age of magmatism and mineralization

FUNDING: The study was carried out under the state assignment of the Institute of Geology and Mineralogy SB RAS and the Institute of the Earth's Crust SB RAS and supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

RESEARCH ARTICLE

Received: June 16, 2020

Revised: January 28, 2021

Correspondence: Yuri A. Kalinin, kalinin@igm.nsc.ru

Accepted: February 12, 2021

FOR CITATION: 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., 2021. Age constraints and metallogenic prediction of gold deposits in the Akzhal-Boko-Ashalin ore zone (Altai accretion-collision system). *Geodynamics & Tectonophysics* 12 (2), 392–408. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0530

ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АКЖАЛ-БОКО-АШАЛИНСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (АЛТАЙСКАЯ АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННАЯ СИСТЕМА)

Ю.А. Калинин^{1,2}, К.Р. Ковалев¹, А.Н. Сердюков³, А.С. Гладков⁴, В.П. Сухоруков^{1,2}, Е.А. Наумов⁵,
А.В. Травин^{1,2}, Д.В. Семенова¹, Е.В. Серебряков⁴, Е.Д. Греку²

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

³ ООО «ГЕОКЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

⁴ Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

⁵ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 117545, Москва, Варшавское ш., 129-1, Россия

АННОТАЦИЯ. Представлены новые данные о возрасте магматических пород и рудно-метасоматических образований на золоторудных месторождениях Акжал-Бок-Ашалинской рудной зоны. Месторождения по своей рудно-формационной принадлежности более всего соответствуют орогенному типу золоторудных месторождений, что в целом отражает металлогеническую специфику Западно-Калбинского золотоносного пояса Восточного Казахстана. Оруденение представлено золотокварцевыми жилами и минерализованными зонами золотосульфидной формации и приурочено к разрывам, оперяющим региональные северо-западные и субширотные разломы. Общим для них является локализация золотосодержащих прожилково-вкрапленных пирит-арсенопиритовых руд в углеродисто-песчаносланцевых и турбидитовых толщах разного возраста, структурно-тектонический контроль оруденения, частое присутствие в рудоконтролирующих зонах даек среднеосновного состава, проявление посторогенных разновозрастных интрузивных гранит-гранодиоритовых пород, связь золотого оруденения с которыми неочевидна. Возраст магматических пород района показал близкие величины в узком интервале значений – от 309.1 ± 4.1 до 298.7 ± 3.2 млн лет, что в целом согласуется с ранее установленным возрастом гранитоидных массивов золоторудных полей Восточного Казахстана. Несколько более молодой возраст получен для кислых пород дайкового комплекса в диапазоне от 292.9 ± 1.3 до 296.7 ± 1.6 млн лет. Возраст формирования рудной минерализации, по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования серицита из околорудных метасоматитов, показал два уровня: 300.4 ± 3.4 и 279.8 ± 4.3 млн лет. В целом, отрыв возраста минерализации от возраста магматических пород почти на 20 млн лет может свидетельствовать о том, что процессы рудообразования импульсно продолжались в рудном поле на протяжении как минимум 20 млн лет, что, тем не менее, подтверждает связь гидротермальной деятельности в районе со становлением и эволюцией кислых магматических пород данного возрастного уровня, относимых предшественниками к кунушскому комплексу. В пользу такой интерпретации свидетельствуют результаты восстановления полей тектонических палеонапряжений, показывающие, что в течение рудного этапа происходила смена направлений осей главных нормальных напряжений, обусловившая формирование рудных тел существенно различных направлений. Полученные возрастные характеристики являются первыми для района и должны быть в будущем дополнены для более четкого понимания хронологии рудообразующих процессов. Все приведенные характеристические признаки золотого оруденения Акжалского, Ашалинского и Даубайского рудных полей (литологические, стратиграфические, структурно-тектонические, магматические, изотопногеохронологические, минералого-геохимические) являются, по сути, критериями поиска подобного рода оруденения в Восточном Казахстане.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Западно-Калбинский золотоносный пояс; Восточный Казахстан; золоторудное месторождение; возраст магматизма и оруденения

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН и ИЗК СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

1. ВВЕДЕНИЕ

Алтайская аккреционно-коллизийная система, сформированная на окраине Сибирского континента в результате эволюции Палеоазиатского океана [Berzin et al., 1994], чрезвычайно насыщена золоторудными месторождениями различных геологопромышленных типов. На территории Восточного Казахстана преобладают золоторудные месторождения орогенного типа,

локализованные, как правило, в углеродистых терригенных толщах, к которым относятся месторождения Бакырчик, Большевик, Суздаль и многие другие. Общими для них являются локализация золотосодержащих прожилково-вкрапленных пирит-арсенопиритовых (золотосульфидных) руд в углеродисто-песчаносланцевых и турбидитовых толщах разного возраста, структурно-тектонический контроль оруденения, частое

присутствие в рудоконтролирующих зонах даек среднего состава, проявление посторогенных разновозрастных интрузивных гранит-гранодиоритовых пород, связь золотого оруденения с которыми неочевидна. Месторождения приурочены к пассивным континентальным окраинам, границам тектонических плит, внутри- и окраинно-плитным рифтовым прогибам, где максимально проявляется термальная и механическая энергия аккреционно-субдукционных, коллизионных и постколлизионных процессов.

Другим важным типом золотого оруденения Восточного Казахстана являются связанные с гранитоидными интрузивами штокверковые месторождения (Intrusion-related gold systems, IRGS). Рудообразующие системы этого типа имеют много сходных характеристик с типичными орогенными (золотосульфидно-кварцевыми): геохимическую специфику, восстановленные сульфидные ассоциации, низкую концентрацию рудообразующего флюида и т.д., но одним из важных отличий является возрастная связь (± 2 млн лет) минерализации с интрузивами и широкое развитие ассоциирующих с ними метасоматитов. Во многих случаях, ввиду конвергентности характеристических признаков, отнести месторождение к тому или иному типу весьма затруднительно. Одним из возможных путей решения этой проблемы является анализ изотопно-геохронологических данных по выявлению возрастных рубежей формирования золоторудной минерализации в связи с тем или иным магматическим комплексом. Обсуждению этих вопросов и посвящена настоящая статья.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РУДНОЙ ЗОНЫ

Западно-Калбинский золотоносный пояс (ЗКЗП) Алтайской аккреционно-коллизионной системы протягивается в северо-западном направлении вдоль системы крупных разломов (сутурных швов), проникающих в подкоровую область. Эти нарушения играют роль магмоводов, по которым в земную кору поступали, в том числе, и рудоносные флюиды [Geology..., 1986; Kuchukova, 1991]. Наиболее крупный из них – Горностаевско-Аркалыкско-Боконский глубинный разлом и связанный с ним Знаменско-Горностаевский прогиб, к которому приурочено большинство известных рудных полей региона.

Уже на ранних этапах изучения Западно-Калбинского золотоносного пояса было обращено внимание на потенциал зон сульфидной минерализации в карбонатно-терригенных («черносланцевых») толщах [Kuzmenko et al., 1971]. Одной из наиболее перспективных в этом отношении является Акжал-Боко-Ашалинская рудная зона, расположенная на юго-восточном фланге ЗКЗП (рис. 1). Начиная с 1909 г. здесь отрабатывались на золото сотни приповерхностных кварцевых жил и выборочно, до глубин 50–100 м, приуроченные к ним выветрелые минерализованные породы. По аналогии с широко распространенными в регионе золотоносными корами выветривания [Kalinin et al., 2009, 2019], этот тип «окисленных руд» является экономически

наиболее привлекательным. По данным проводимых геологоразведочных работ, основные запасы месторождений связываются с зонами гидротермально измененных пород с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией, которые прослеживаются до глубин 300–400 м и более. В настоящее время на многих месторождениях Акжал-Боко-Ашалинской рудной зоны идут эксплуатационные работы и проводится разведочное бурение глубоких горизонтов сульфидизированных зон.

Рассматриваемый блок ЗКЗП с поверхности сложен существенно терригенными породами, а на глубине – породами основания – метабазами, андезитами, известняками и кремнистыми породами [Levin, 1968; Pavlova, 1981]. Он включает все известные золоторудные месторождения ЗКЗП, которые располагаются по периферии глубинного очага над контактами меланократового комплекса пород и глубинной зоны ультраметаморфизма. Эта зона, фиксируемая градиентами региональной отрицательной гравитационной аномалии, могла быть генератором и источником золоторудной минерализации [Bespaev et al., 2013].

В целом, для Акжалского рудного поля (рис. 1) рудовмещающий вулканогенно-осадочный разрез аркалыкской свиты визейского яруса (C_3) отвечает терригенно-кремнисто-риолит-базальтовой формации бимодальной серии. Ее формирование происходило в условиях неглубоководного бассейна с нестабильным окислительно-восстановительным режимом, сопровождалось процессами гидротермальной активности, сульфидизацией, развитием биоорганики и отложением гидротермально-осадочных кремнистых пород. Преимущественно в этих породах локализована рудная минерализация (рис. 2).

Магматические образования на месторождении Акжал представлены гранодиорит-диоритовым массивом и дайковыми телами плагиогранит-порфиоров.

По минеральному составу породы близки между собой, состоят преимущественно из плагиоклаза (60–70%) и темноцветных минералов, представленных в основном роговой обманкой (20–30%), иногда биотитом. Вариативность пород определяется количеством кварца, содержание которого меняется от 5 до 20%. Структура пород гипидиоморфная, с резким идиоморфизмом плагиоклаза и темноцветных минералов (рис. 3). Химический состав пород интрузивного массива и дайковых тел месторождения представлен в Прил. 1, табл. 1. По петро- и геохимическим данным все они располагаются в полях нормальных и умеренно-щелочных разностей. По данным предшествующих исследователей, они относятся к кунушскому комплексу (C_3-P_1) [Nalivaev, 1980; Sviridov et al., 1999]. Полученные нами результаты и данные не противоречат этим представлениям.

Рудоконтролирующая роль магматического фактора для месторождения Акжал оценивается исследователями по-разному [Lyubetsky, Lyubetskaya, 1984; Kuchukova, 1991; Korobeinikov, Maslennikov, 1994; Narseev, 1996; Dyachkov et al., 2015]. С одной стороны, формирование

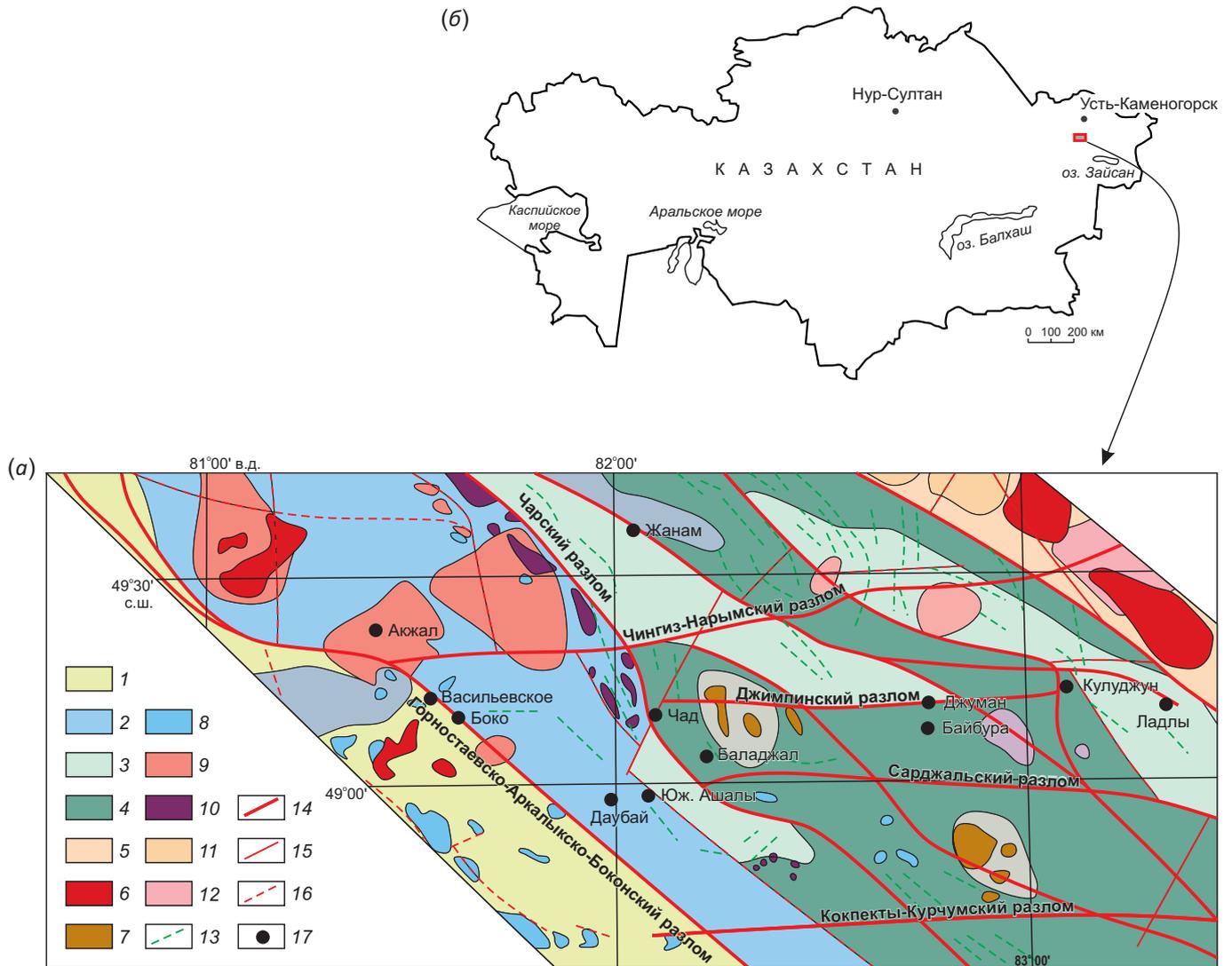


Рис. 1. Тектонические карты Западно-Калбинского золоторудного пояса. (а) – фрагмент карты глубинного тектонического строения Западно-Калбинского золоторудного пояса (по [Bespaev et al., 2013]). 1 – структуры, прошедшие стадию рифтогенного развития при частичной или относительно слабой деструкции; 2 – гранитизированные метабазитовые, существенно вулканогенные комплексы обдущированной и океанической коры (Суздальско-Акжалская золоторудная зона); 3 – островодужные структуры поднятия; 4 – островодужные структуры опускания (прогибы); 5 – островодужные структуры: спилит-дацитриолитовый комплекс; 6 – перемещенные гранитоиды калбинского комплекса; 7 – перемещенные гранитоиды монастырского комплекса; 8 – пояс габброидов, несущих медно-никелевое оруденение; 9 – граносиениты Аргимбайского комплекса; 10 – палеограница континентального массива: протрузии гипербазитов, меланж, покровы; 11 – тафrogenные впадины; 12 – структуры, прошедшие стадию рифтогенного развития при полной деструкции; 13 – дайки диабазов, диабазовых порфиритов; 14 – глубинные разломы – структурные зоны, фиксирующие следы субдукции; 15 – региональные разрывы; 16 – внутриблоковые разрывы, установленные по геологическим и геофизическим данным, а также разрывы, контролирующие золотое оруденение; 17 – месторождения золота. (б) – фрагмент геологической карты Западно-Калбинского района (по [Bespaev et al., 2013]).

Fig. 1. Tectonic maps of the West Kalba gold-bearing belt. (a) – map fragment showing the depth tectonic structure of the belt (after [Bespaev et al., 2013]). 1 – structures after the rifting stage with partial or relatively weak destruction; 2 – granitized metabasic, essentially volcanogenic complexes of obducted and oceanic crust (Suzdal-Akzhal gold-ore zone); 3 – island-arc uplifts; 4 – island-arc subsidence structures (troughs); 5 – island-arc structures: spilite-dacitriolite complex; 6 – displaced granitoids of the Kalba complex; 7 – displaced granitoids of the Monastyrsky complex; 8 – belt of copper-nickel-bearing gabbroids; 9 – granosyenites of the Argimbay complex; 10 – paleoboundary of the continental massif: protrusions of hyperbasites, melange, and nappes; 11 – taphrogenic depressions; 12 – structures after the rifting stage with complete destruction; 13 – dykes of diabases, and diabase porphyrites; 14 – deep faults (structural zones with traces of subduction); 15 – regional faults; 16 – intrablock faults detected from geological and geophysical data, and faults that control gold mineralization; 17 – gold deposits. (b) – geological map fragment showing the West Kalba area (after [Bespaev et al., 2013]).

и подновление основных рудоконтролирующих разломов происходило в основном в орогенный этап, они одновременно являлись магмоподводящими структурами. Пространственное тяготение рудных зон к эндо- и экзоконтактам интрузивных тел и отмечавшаяся горизонтальная зональность минеральных парагенезисов относительно Акжальского массива кварцевых диоритов [Metallogeny..., 1980] свидетельствуют о существовании магматического рудоконтролирующего фактора. С другой стороны, очевидна некоторая

оторванность во времени магматизма и оруденения, поскольку минерализованные рудные зоны и кварцевые жилы в них, очевидно, секут массивы диоритов. Многочисленность выходов и однородность минерального состава диоритов могут свидетельствовать о наличии в районе месторождения единой глубинной интрузии, не вскрытой эрозией, что значительно расширяет перспективы рудного поля в целом, поскольку «слепые» апофизы единого массива могут быть обнаружены и в других его частях в соответствующей благоприятной

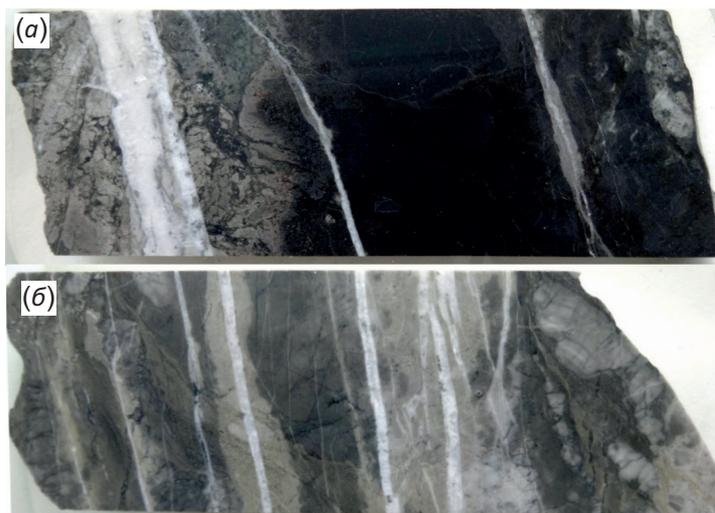


Рис. 2. Породы месторождения Акжал, вмещающие золоторудную минерализацию.

(а) – обр. АК-619/193. Плотная карбонатно-хлоритовая ороговикованная порода по базальту с кварц-карбонатными прожилками и с сульфидной минерализацией; (б) – обр. АК617/79. Гидротермально измененный окварцованный и серицитизированный углеродистокремнистый алевропелит, содержащий биоморфные кремнистые образования.

Fig. 2. Rocks of the Akzhal gold-ore deposit.

(а) – sample АК-619/193; dense carbonate-chlorite hornfels rock over basalt with quartz-carbonate veins and sulfide mineralization; (б) – sample АК617/79; hydrothermally altered silicified and sericitized carbon-siliceous aleuropelite containing biomorphic siliceous formations.

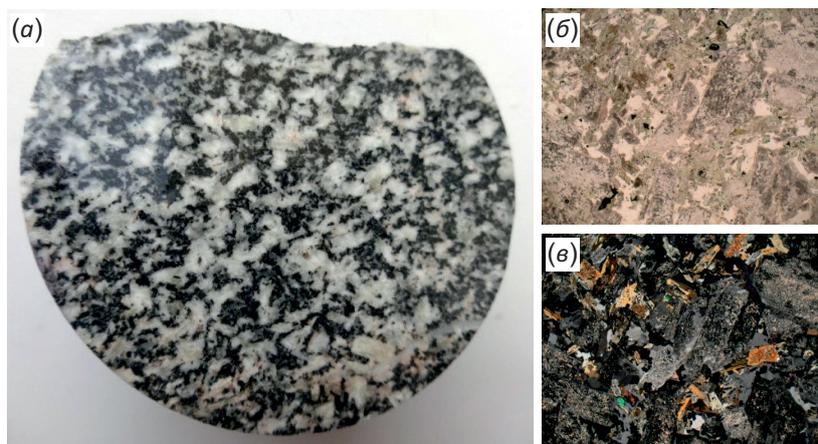


Рис. 3. Образец АК 621/335 – кварцевый диорит (а). Отобран из керна скважины 621, глубина 335 м, из глубинной части вмещающего массива. Минеральный состав: плагиоклаз (75 %), амфибол (15 %), кварц (10 %). Вторичные минералы: серицит, амфибол, хлорит, кальцит, эпидот. Фотографии шлифа (параллельные и скрещенные николи) (б, в).

Fig. 3. Sample АК 621/335 – quartz diorite (а). Taken from core 621 at the depth interval of 335 m, i.e. from the deep part of the host rock massif; mineral composition: plagioclase (75 %), amphibole (15 %), quartz (10 %); secondary minerals: sericite, amphibole, chlorite, calcite, and epidote; photographs of a thin section; parallel and crossed nicols (б, в).

структурной обстановке. В этой связи важным является вопрос о временной соотносимости магматических образований и оруденения. Ключевым является также вопрос о роли даек риолитов и дацитов, постоянно фиксируемых внутри и вблизи продуктивных рудных зон. Близость химического состава диоритов массива и кислых субвулканических даек ставит вопрос об их единстве или обусловленности единым магматическим очагом (Прил. 1, табл. 1). По результатам поисково-разведочных работ отмечалось, что «при сопоставлении химического состава акжальских пород дайковой серии со средними составами изверженных пород обнаруживается несомненная их близость к среднему составу кварцевых диоритов» [Okunev et al., 1969]. Таким образом, возраст и формационная принадлежность интрузивных пород месторождения представляются одним из ключевых вопросов геологии рудного поля. Методы абсолютной геохронологии помогают приблизиться к решению этих вопросов.

Рудовмещающий разрез Даубайского и Ашалинского рудных полей представлен песчано-сланцевыми, в том числе углистыми, отложениями буконьской свиты (C_2) и вулканогенно-терригенными отложениями майтубинской (даубайской) свиты (C_3-P_1) (рис. 4).

Интрузивные породы, относимые к шестистепенными также к кунушскому комплексу (C_3-P_1), представлены диоритовыми порфиридами, альбитовыми сиенитами и гранодиорит- и гранит-порфирами. Для них характерны порфировые равномерно-зернистые и неравномерно-зернистые структуры с порфировыми вкрапленниками плагиоклаза, роговой обманки, биотита и кварца для более кислых разностей и фельзитовые или фельзит-аллотриоморфно-зернистые структуры основной массы и отсутствие калиевого полевого шпата.

На TAS-диаграмме точки составов пород лежат вблизи линии, разделяющей поля нормальной и повышенной щелочности и в целом соответствуют известково-щелочной ($Na_2O+K_2O-CaO=1.2-3.8$ [Frost et al., 2001])

серии (Прил. 1, табл. 2). В классификации [Pearce et al., 1984] породы являются промежуточными между S- и I-типом ($Rb/Sr=0.02-0.38$, $Rb/Ba=0.10-0.17$). На дискриминационных диаграммах (Y, Nb, Zn, Ce – $104 \times Ga/Al$ [Whalen et al., 1987; Sylvester, 1989]) фигуративные точки составов пород компактно группируются в области нормальных (нефракционированных) гранитоидов.

3. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

В пределах Акжал-Боко-Ашалинской рудной зоны известны многочисленные мелкие и средние золоторудные месторождения, отрабатываемые в прошлом столетии и реанимируемые в последнее десятилетие. Рудно-формационная принадлежность золоторудных проявлений принципиально аналогична другим месторождениям ЗКЗП [Kalinin et al., 2017]. Оруденение представлено жилами золотомалосульфиднокварцевой формации и минерализованными зонами золото-сульфидной формации (рис. 5), сопровождаемыми процессами околорудного изменения пород: серицитизации, хлоритизации, окварцевания, карбонатизации и альбитизации.

Рудовмещающими породами являются как интрузивные (Даубай, Баладжал), так и терригенно-вулканогенные породы (Южные Ашалы, Аномальный, Тенинский). Важным рудоконтролирующим фактором золотого оруденения Ашалы-Дайбайского рудного поля считается литолого-стратиграфический [Serdyukov, 2009]. Вкрапленные руды метасоматического облика локализованы в эффузивах пестроцветной свиты майтубинской серии. Прожилково-вкрапленное метаморфогенно-гидротермальное оруденение проявлено в вышележащих углеродисто-терригенных толщах сероцветной свиты. Литологически благоприятными являются углисто-глинистые сланцы и углистые алевролиты. Наиболее характерным поисковым признаком золотого оруденения района является наличие арсенопирита и тонковкрапленного пирита (рис. 6).



Рис. 4. Рудовмещающие породы Ашалы-Дайбайского рудного района.

(а) – обр. Ан244/14 (гл. 146 м). Деформированный углеродисто-кремнистый сланец с прожилковой и сетчатой кварц-сульфидной минерализацией. 6×14 см. (б) – обр. 210/12 (гл. 114 м). Брекчия из обломков измененного андезит-базальтового порфирида в углеродисто-песчаном агрегате с прожилками белого кварца нескольких генераций и вкрапленной сульфидной минерализацией. 6.0×6.3 см.

Fig. 4. Ore-bearing rocks of the Ashaly-Daybai ore region.

(a) – sample An244/14 (146 m depth); deformed carbonaceous-siliceous shale with veinlet and reticulated quartz-sulfide mineralization (6×14 cm). (b) – sample 210/12 (114 m depth); breccia from fragments of altered andesite-basaltic porphyrite in carbonaceous-sandy aggregate with white quartz veinlets of several generations and disseminated sulfide mineralization (6.0×6.3 cm).

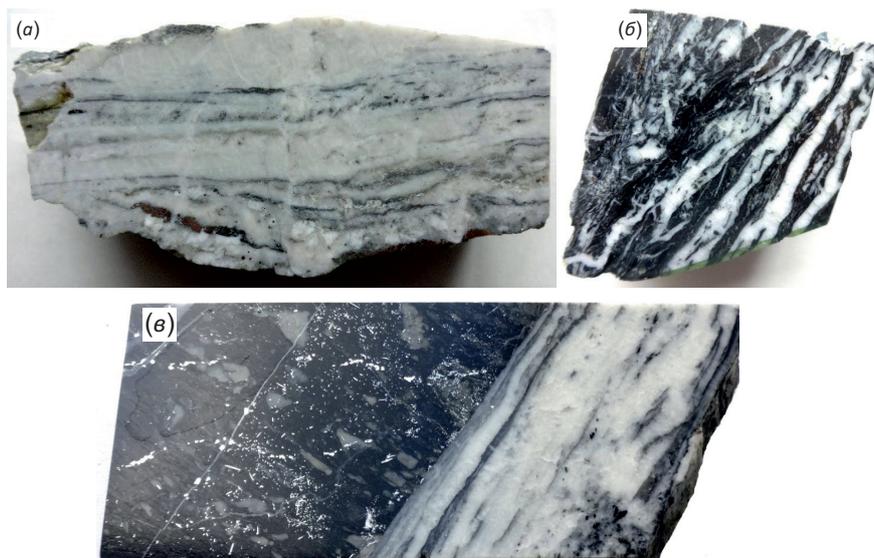


Рис. 5. Основные структурно-морфологические типы золоторудной минерализации. (а) – обр. Те-613/128.6. Кварц-сульфидная жила с полосчатым распределением среднезернистых сульфидов и реликтами серицитизированных сланцев. 13×6.2 см. (б) – обр. 210/5 (гл. 84 м). Углеродисто-пелитовый сланец с послойной сульфидной минерализацией и кварцево-жилвой минерализацией. 5×5 см. (е) – обр. АК605/269. Интенсивно дислоцированный углеродисто-кремнистый алевропелит с обильной арсенопирит-пиритовой минерализацией и жилой белого кварца с доломитом. Отмечаются две генерации арсенопирита – тонкокристаллический в сланцах и более крупнозернистый в прожилках.

Fig. 5. Main structural-morphological types of gold-ore mineralization. (a) – sample Te-613/128.6; quartz-sulfide vein with banded distribution of medium-grained sulfides and sericitized shale relics; 13×6.2 cm. (б) – sample 210/5 (84 m depth); carbon-pelitic shale with layered sulfide mineralization and quartz-vein mineralization; 5×5 cm. (e) – sample AK605/269; intensely dislocated carbonaceous-siliceous aleuropelite with abundant arsenopyrite-pyrite mineralization and a vein of white quartz with dolomite. Two generations of arsenopyrite – fine-crystalline in shales, and coarser in veinlets.

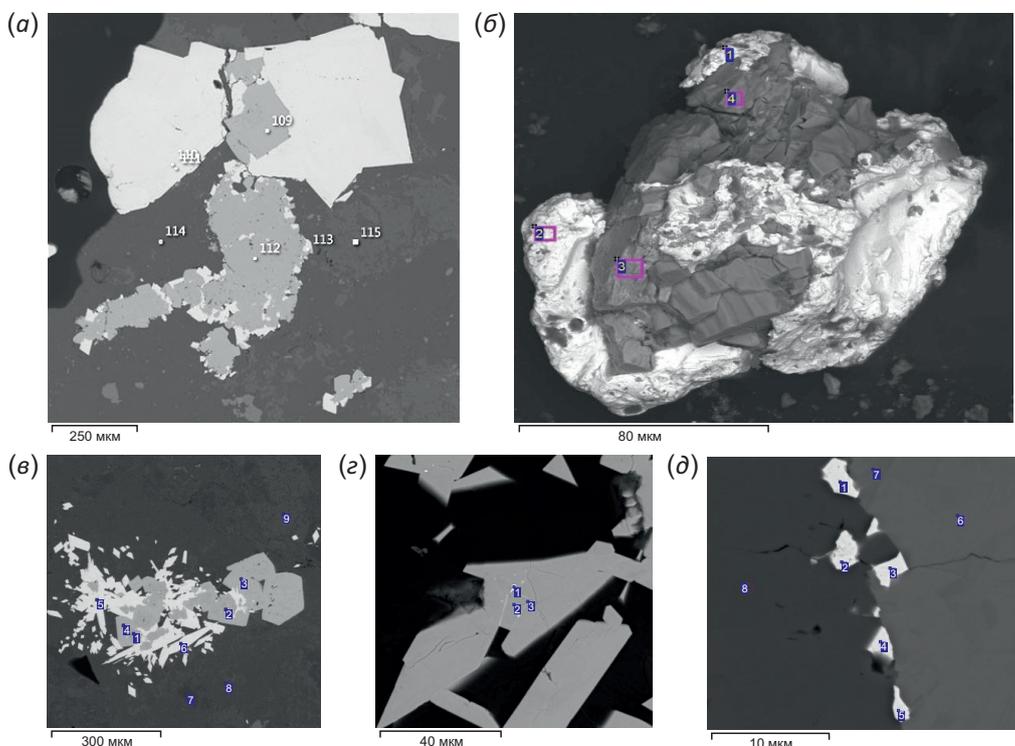


Рис. 6. Взаимоотношения главных рудных минералов на месторождениях Акжал и Ашалы. Снято на сканирующем электронном микроскопе. (а) – Южные Ашалы. Обр. АШ 210/15. Сростки таблитчатого арсенопирита (110, 111) с включением кристаллов пирита (109) и зернистые агрегаты пирита (112), обрастаемые арсенопиритом (113) в агрегате альбита (114) и доломита (115). (б) – обр. ВС-6. Акжал. Рудная зона Центральная. Комковатое высокосеребристое золото (1, 2) в сростании с арсенопиритом (3) и

пиритом (4). (е) – Акжал. Обр. АК-605/270. 1–4 – пирит, 5, 6 арсенопирит, 7 – кварц, 8 – мусковит, 9 – доломит. (з) – Акжал. Обр. АК-605/269. 1 – золото, 2, 3 – арсенопирит. (д) – Акжал. Обр. АК-617/87. 1–5 – золото, 6, 7 – арсенопирит, 8 – пирит.

Fig. 6. Relationships between the main ore minerals of the Akzhal and Ashaly deposits. Images taken using a scanning electron microscope. (a) – sample ASH 210/15; Southern Ashaly; intergrown tabular arsenopyrite (110, 111) with inclusions of pyrite crystals (109), and granular pyrite aggregates (112) surrounded by arsenopyrite (113) in the aggregate of albite (114) and dolomite (115). (б) – sample VS-6; Akzhal; Central ore zone; lumpy high-silver gold (1, 2) intergrown with arsenopyrite (3) and pyrite ((е) – sample АК-605/270; Akzhal; 1–4 – pyrite, 5, 6 – arsenopyrite, 7 – quartz, 8 – muscovite, 9 – dolomite. (з) – sample АК-605/269; Akzhal; 1 – gold, 2, 3 – arsenopyrite. (д) – sample АК-617/87; Akzhal; 1–5 – gold, 6, 7 – arsenopyrite, 8 – pyrite.

В целом, по текстурно-минералогическим особенностям такая минерализация близка к оруденению месторождений Бакырчик, Большевик и Суздаль [Kovalev et al., 2009, 2011, 2012]. Рудные тела месторождения Акжал локализованы как непосредственно в ареале интрузивного массива, так и во вмещающих вулканогенно-терригенных породах [Serdyukov, 2015]. Основными рудными минералами также являются пирит и арсенопирит.

4. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

U/Pb-датирование цирконов выполнялось методом LA-ICP-MS в Центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Измерения проводились на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой Thermo Scientific Element XR, соединенном 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 . Съемка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в режиме счета (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" [Griffin et al., 2008]. U/Pb изотопные отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов Plesovice [Slama et al., 2008]. Погрешности единичных анализов (отношений, возрастов) приведены на уровне 1σ. В качестве образца сравнения использовали стандартный образец циркона GJ-1 ($^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ возраст 608.53±0.37 млн лет) [Jackson et al., 2004].

Цирконы отбирались вручную и методом разделения в тяжелых жидкостях. Оптические и катодолюминесцентные исследования цирконов, запрессованных в шашку с эпоксидной смолой, позволили наметить наиболее качественные зерна для дальнейших исследований на приборе. Принципиальных различий в морфологии и внутреннем строении зерен не выявлено. Характерны короткопризматические кристаллы зонального строения. Размеры зерен варьируются от десятков микрометров (мкм) до 200 мкм.

$^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ датирование проводилось в Центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Навески минеральных фракций совместно с навесками биотита МСА-11 (ОСО № 129-88), используемого в качестве монитора, заворачивались в алюминиевую фольгу, помещались в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаивались. Биотит МСА-11, подготовленный ВИМС в 1988 г. как стандартный K/Ar образец, был аттестован в качестве $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ монитора с помощью международных стандартных образцов мусковита Bern 4m, биотита LP-6. В качестве интегрального возраста биотита МСА-11 принято среднее значение результатов калибровки, составившее 311.0±1.5 млн лет. Кварцевые ампулы с пробами облучались в кадмированном канале научного реактора ВВР-К типа при Томском политехническом университете. Градиент нейтронного потока не превышал 0.5 % в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ^{40}Ar (10 мин при 1200 °С) не превышал 5×10^{-10} нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noblegas 5400 фирмы Микромасс (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте, в таблицах и на рисунках, соответствуют интервалу ±1σ [Travin, 2016]. Серицит отбирался вручную, с использованием бинокулярного микроскопа из раздробленных образцов керн-скважин разных участков с разных глубин.

Минералогические исследования проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа (TESCAN МША 3LMU) с рентгеноспектральным микроанализатором (JEOL JXA-800). Изучение элементов внутреннего строения сопровождалось определением химического состава золота с помощью электронно-зондового микроанализа (RMA04).

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По главным типам магматических пород Акжальского, Ашалинского и Даубайского рудных полей методом масс-спектрометрии индукционно связанной плазмы с лазерной абляцией (ЛА ИСП МС) по цирконам в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН были получены U/Pb датировки (всего девять проб), показавшие близкие величины в достаточно узком интервале значений от 309.1±4.1 до 298.7±3.2 млн лет. В целом, этот возрастной уровень согласуется с ранее установленным возрастом гранитоидных массивов

(см. рис. 1), ширина зоны влияния которого достигает от десятков до первой сотни километров. По мнению ряда исследователей, он представляет собой сутурный шов, ограничивающий зону субдукции [Bespaev et al., 2008]. В его строении выделяется ряд региональных и локальных нарушений, контролирующих размещение золоторудных полей и месторождений. Часть месторождений приурочена непосредственно к осевой линии данного разлома (Васильевское, Боко и др.), другая часть располагается в зоне динамического влияния (Суздальское, Акжал и др.), и, наконец, третья часть контролируется зоной смятия, опережающей разлом (Даубай, Южные Ашалы и др.). Помимо нарушений северо-западной ориентировки, большое значение в контроле золотого оруденения играют дизъюнктивы субширотного направления, входящие в систему трансрегионального Чингиз-Нарымского глубинного разлома [Nalivaev, 1980].

Акжал-Боко-Ашалинская рудная зона прослеживается в северо-западном направлении на расстояние более 100 км при ширине около 25 км и представляет юго-восточный фланг Западно-Калбинского золотоносного пояса, сформированного в зоне перехода от континента к океану в пределах краевого вулканоплутонического комплекса. Такая позиция обуславливает наличие некоторых особенностей в его геологическом строении, выраженных, прежде всего, в увеличении мощности земной коры, ее меланократовости, а также в сочетании офиолитового, островодужного вулканогенно-терригенного и молассового типов разреза [Bespaev et al., 2008]. Рудная зона включает с северо-запада на юго-восток Акжалское, Боко-Васильевское и Даубай-Ашалинское рудные поля [Nalivaev, 1980].

В 2016–2019 гг. были проведены структурные исследования на объектах Акжалского и Даубай-Ашалинского рудных полей, что позволило охарактеризовать рудоконтролирующие и рудовмещающие элементы разрывной сети, а также восстановить поля тектонических палеонапряжений. В процессе изучения и картирования разноранговых разрывных нарушений применялись приемы и методы спецкартирования [Seminsky, 1994]. Восстановление полей тектонических напряжений проводилось на основе информации, полученной в результате детального изучения тектонической трещиноватости. При этом использовался ряд известных методических приемов, разработанных для анализа как «немой» трещиноватости [Gzovsky, 1975; Nikolaev, 1992; Gladkov, Seminsky, 1999], так и трещин со следами смещений на плоскостях [Delvaux, Sperner, 2003].

Результаты предварительного анализа данных свидетельствуют о том, что рудопроявления и месторождения золота в указанных полях приурочены к зонам региональных разломов северо-западного (Боконский и Даубайский) и субширотного (Южный) направления, а также узлам их пересечений с разломами других ориентировок. Собственно рудные тела (кварцевые жилы и минерализованные зоны) расположены в локальных структурах (трещины и разрывные нарушения),

опережающих региональные разломы. Их ориентировка может существенно различаться в зависимости от сегмента Акжал-Боко-Ашалинской зоны. Ярким примером этого могут служить результаты изучения участков Даубай-Ашалинского рудного поля. Так, в пределах месторождения Южные Ашалы рудные тела имеют восток-северо-восточное (субширотное) простирание, характеризуются падением на юг-юго-запад под углами 45–55° и приурочены к опережающим разрывам, развитым в лежащем крыле регионального Южного разлома. В свою очередь, на участке Тенинском простирание рудных тел меридиональное и северо-восточное с падением на запад-юго-запад под углом от 50 до 85°. Столь различные по ориентировке рудные тела и минерализованные зоны встречаются и в пределах отдельных месторождений (например, Акжал). Выявленные особенности ориентировок рудовмещающих дизъюнктивов позволили предположить наличие изменений в условиях активизации разрывных структур различных направлений на протяжении рудного этапа.

Результаты восстановления полей тектонических палеонапряжений подтверждают данное предположение. На всех изученных объектах Акжал-Боко-Ашалинской зоны зафиксирована, с незначительными отличиями, последовательность проявления полей тектонических напряжений во времени (рис. 8, а). Первое из них соответствует времени (дорудный этап) формирования зоны смятия вдоль Горностаевско-Аркалыкско-Боконского глубинного разлома северо-западного направления, частными сместителями которого являются Даубайский и Боконский разломы. Решения, отвечающие полю 4 на рис. 8, а, отмечены преимущественно в точках, выполненных в интрузивных и эффузивных породах (в т.ч. в предполагаемой вулканоструктуре), т.е. соответствуют постмагматическому и пострудному времени. Решения 2 и 3 соответствуют рудному этапу и отражают изменение поля тектонического напряжения на его протяжении. Модели формирования/активизации структур, вмещающих рудные тела различных направлений под действием данных полей, приведены на рис. 8, б, в.

Полученные данные позволили уточнить особенности структурного контроля золоторудной минерализации Акжал-Боко-Ашалинской зоны и установить факт изменения поля тектонических напряжений на протяжении рудного этапа. Однако характер изменений (единовременный разворот направлений действия осей главных нормальных напряжений или их пульсационная смена), а также длительность рудного этапа геолого-структурными методами оценить сложно. Для этого необходим дальнейший комплексный анализ структурных и вещественных данных с привлечением методов геохронологии.

7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Гидротермально-метасоматические процессы, предшествующие и сопровождающие рудообразование на месторождениях Акжал-Боко-Ашалинской золоторудной

зоны, контролируются тектоническими процессами, продукты которых в значительной степени определяются первичным составом вмещающих пород. В магматических, вулканических и углеродисто-кремнисто-терригенных породах наиболее характерными являются окварцевание и серицитизация. Во всех этих гидротермально измененных и в различной степени сульфидизированных породах широко представлена кварцево-жильная минерализация с более крупнозернистыми регенерированными жильными и рудными минералами.

Морфология рудных тел определяется структурными факторами и характеризуется линзообразными, пластообразными и столбообразными формами. Основные рудные тела представляют собой зоны кварцево-жильной минерализации, сопровождаемой

окварцеванием, серицитизацией, доломитизацией и калишпатизацией, альбитизацией и хлоритизацией во вмещающих породах различного состава: углеродисто-кремнистых алевропелитах, базальтах, туфогенно-обломочных породах основного состава, магматических породах среднего и кислого состава. Продуктивная рудная минерализация часто ассоциирует с дайковыми телами гранит-порфиров. Выделяются два основных структурно-морфологических типа руд: углеродистые сланцы с вкрапленной арсенопирит-пиритовой минерализацией и вкрапленные и жильные кварц-сульфидные руды в измененных породах.

Модель образования золотого оруденения представляется в следующем виде. На раннем этапе формирования рудовмещающей вулканогенно-осадочной толщи

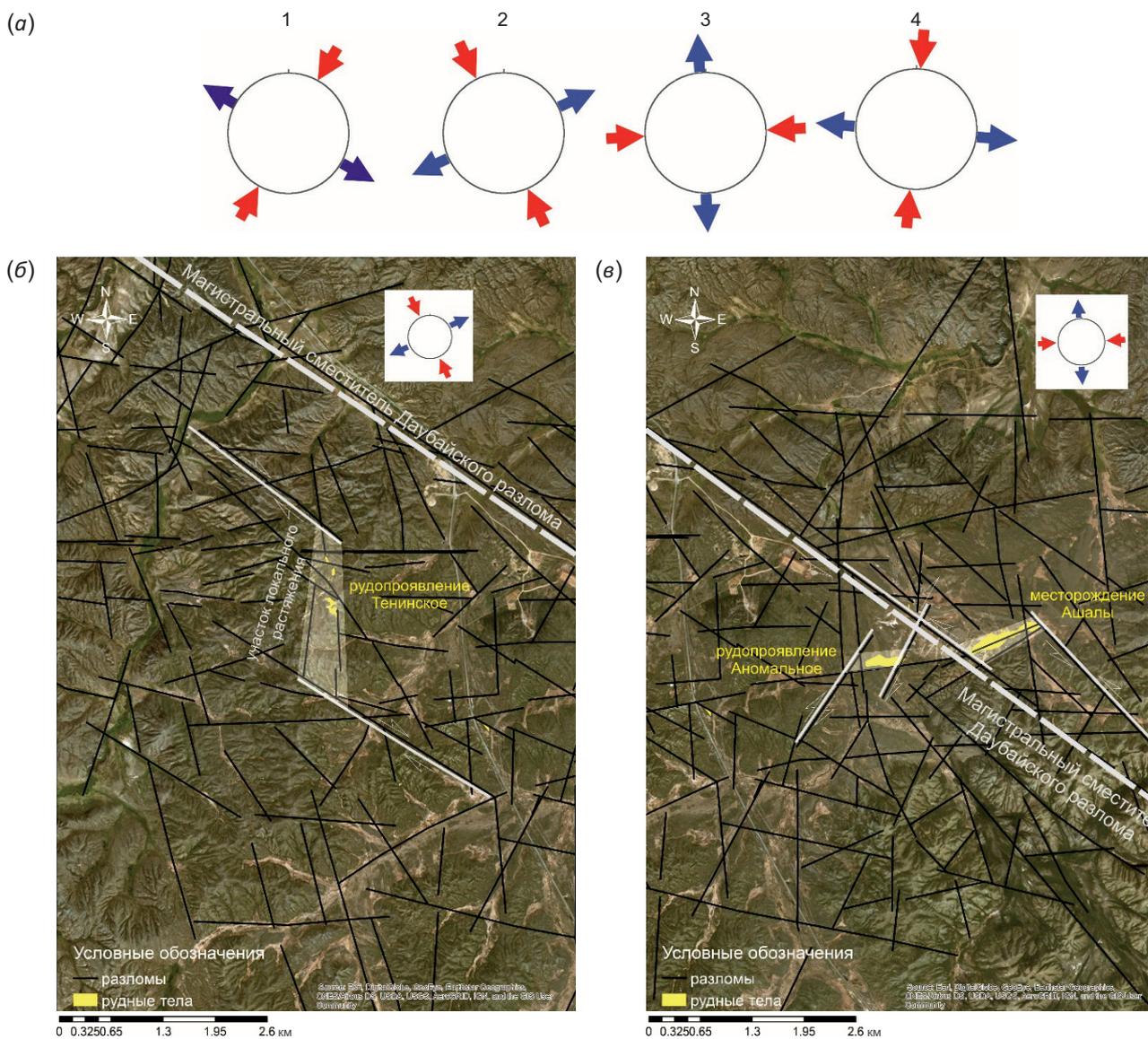


Рис. 8. Последовательность проявления полей тектонических напряжений во времени для изученных объектов Акжал-Бокко-Ашалинской зоны (а) и модели формирования структур, вмещающих рудные тела: Тенинского участка (б) и месторождения Южные Ашалы (в).

Fig. 8. Time sequence of tectonic stress fields in the studied objects of the Akzhal-Boko-Ashaly zone (a). Models showing the formation of structures containing ore bodies: Teninsky area (b), and South Ashaly deposit (c).

в связи с процессами базальтоидного вулканизма в углеродисто-кремнистых толщах происходило обогащение осадков железом, медью, мышьяком, сурьмой, золотом, кобальтом, никелем и другими элементами. Процессы динамометаморфического преобразования пород, предшествующие внедрению интрузивных пород, сопровождалось появлением регенерированной тонкокрапленой арсенопирит-пиритовой минерализации в кремнисто-углеродистых породах. Образованные тонкоиглочатые агрегаты арсенопирита характеризуются повышенными концентрациями золота, сурьмы, никеля и кобальта и часто обрастают высокомышьяковистыми зернами и агрегатами пирита. Связь такого типа минерализации с черносланцевым толщами прослеживается в большинстве месторождений Западно-Калбинского золотоносного пояса (Бакырчик, Большевик, Суздаль, Жерек, Васильевское). Второй этап формирования золотосульфидной минерализации связан с внедрением в конце карбона – начале перми кислых интрузивных пород и даек. Вопрос об отнесении этих магматитов к кунушскому комплексу требует углубленных петрологических исследований и, с нашей точки зрения, для рудообразования не является принципиальным. Этот рудообразующий этап представлен двумя стадиями. На ранней стадии в связи с процессами интенсивного прокварцевания пород формировались крупнокристаллические кварц-арсенопирит-пиритовые руды. Арсенопирит в этих образованиях представлен призматическими и дипирамидальными кристаллами и содержит на порядок меньшее количество золота. Последующие процессы хрупких деформаций привели к брекчированию образованных ранее зерен пирита и арсенопирита. На второй стадии этого этапа, скорее всего по времени сближенной со временем внедрения гранит-порфировых даек, происходило формирование золото-полисульфидной кварцево-жильной минерализации, сопровождаемой процессами интенсивной серицитизации, доломитизации и калишпатизации. На этом этапе золото, совместно с галенитом, халькопиритом, Ag-Te-Vi-минералами, выполняет гнезда и прожилки в ранее образованных сульфидах. Интенсивность процесса в значительной степени зависит от фациального уровня магмо- и рудообразования. Согласно полученным геохронологическим данным, продолжительность рудообразования двух этих этапов может быть оценена в 20 млн лет. По-видимому, гранитоидные комплексы служили источниками тепла и флюидов для функционирования гидротермальных систем района.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Месторождения Акжал-Бокко-Ашалинской рудной зоны по своей рудно-формационной принадлежности более всего соответствуют орогенному типу золоторудных месторождений, что в целом отражает металлогеническую специфику Западно-Калбинского золотоносного пояса. Оруденение представлено кварцевыми жилами золото-малосульфидно-кварцевой формации и

минерализованными зонами золотосульфидной формации, сопровождаемыми процессами околорудного изменения пород: серицитизации, окварцевания, карбонатизации, хлоритизации и альбитизации. Рудовещающими породами являются как интрузивные массивы (Даубай, Баладжал), так и терригенно-карбонатно-вулканогенные породы аркалыкской C_1 (Акжал), буконьской (C_2) и даубайской свит (P_1) (Южные Ашалы, Аномальный, Тенинский, Яковлевский). Золотосульфидное оруденение тяготеет к разрывам северо-западного и субширотного простирания, сопровождаемым зонами смятия и рассланцевания пород. Основными рудными минералами золоторудных проявлений являются пирит и арсенопирит.

Широкое развитие гипабисальных комплексов дайковых и интрузивных тел гранит-гранодиорит-кварцдиоритового и сиенитового состава в ареале Горностаевско-Аркалыкско-Боконского глубинного разлома и связанной с ним зоны структурной перестройки является одним из главных факторов локализации золотого оруденения в Акжал-Бокко-Ашалинской рудной зоне. Возраст магматических пород показал близкие величины в узком интервале значений от 309.1 ± 4.1 до 298.7 ± 3.2 млн лет. В целом, этот возрастной уровень согласуется с ранее установленным возрастом гранитоидных массивов золоторудных полей Восточного Казахстана: плагиограниты и плагиогранит-порфиры (C_3 - P_1) [Ermolov, 2013], плагиогранит-гранодиоритовая формация кунушского комплекса (C_3) [Dyachkov et al., 2015]. Несколько более молодой возраст получен для кислых пород дайкового комплекса (четыре пробы) в диапазоне от 292.9 ± 1.3 до 296.7 ± 1.6 млн лет.

Возраст формирования рудной минерализации Акжала, по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования серицита 11 проб, несколько перекрывает интервал магматической активности от 284.0 ± 3.0 до 302.5 ± 3.8 млн лет. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст серицита из околорудных метасоматитов на Южных Ашалах и на Аномальном показал два уровня: 300.4 ± 3.4 млн лет и очень близкие цифры – 279.8 ± 4.3 и 279.6 ± 1.9 млн лет. Полученная цифра абсолютного возраста по фукситу (260 млн лет) пока может считаться только очень предварительной и требует проверки. В целом, отрыв возраста минерализации от магматических пород почти на 20 млн лет может свидетельствовать о том, что процессы рудообразования импульсно продолжались в рудном поле на протяжении как минимум 20 млн лет, что, тем не менее, подтверждает связь гидротермальной деятельности в районе со становлением и эволюцией кислых магматических пород данного возрастного уровня, относимых предшественниками к кунушскому комплексу. Эти возрастные характеристики являются первыми для района и должны быть в будущем дополнены для более четкого понимания хронологии рудообразующих процессов.

Основными факторами структурного контроля золоторудной минерализации Акжал-Бокко-Ашалинской зоны являются региональные нарушения северо-западного и широтного направления, а также узлы их

пересечения. Существенные отличия в ориентировках рудовмещающих дизъюнктивов как на различных участках, так и в пределах отдельных месторождений обусловлены изменениями поля тектонических напряжений на протяжении рудного этапа. Установленные особенности активизации разрывной сети Акжал-Бок-Ашалинской зоны и наличие двух решений поля тектонических напряжений для рудных этапов хорошо согласуются с геохронологическими и вещественными данными. Необходимы дальнейшие комплексные структурно-вещественные исследования для решения вопроса о характере изменений поля тектонических напряжений в течение рудного этапа (единовременный разворот направлений действия осей главных нормальных напряжений или их пульсационная смена).

Все приведенные выше характеристические признаки золотого оруденения Акжалского, Ашалинского и Даубайского рудных полей (литологические, стратиграфические, магматические, изотопно-геохронологические, минералого-геохимические и структурные) являются, по сути, критериями поиска подобного рода оруденения в Восточном Казахстане.

Авторы подтверждают отсутствие у них конфликта интересов.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Berzin N.A., Kolman R.G., Dobretsov N.L. et al., 1994. Geodynamic Evolution of the Western Part of the Paleo-Asian Ocean. *Russian Geology and Geophysics* 35 (7–8), 8–28 (in Russian) [Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л. и др. Геодинамическая эволюция западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7–8. С. 8–28].
- Bespaev Kh.A., Lyubetsky V.N., Lyubetskaya L.D., Mukaeva A.E., 2013. Features of Metallogeny of the West Kalbinsk Gold-Ore Belt. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 5, 13–20 (in Russian) [Беспаев 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. С. 13–20].
- Bespaev Kh.A., Lyubetsky V.N., Lyubetskaya L.D., Uzhkenov B.S., 2008. Gold-Ore Belts of Kazakhstan. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 6, 39–48 (in Russian) [Беспаев Х.А., Любецкий В.Н., Любецкая Л.Д., Ужкенов Б.С. Золоторудные пояса Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2008. № 6. С. 39–48].
- Delvaux D., Sperner B., 2003. Stress Tensor Inversion from Fault Kinematic Indicators and Focal Mechanism Data: The TENSOR Program. In: D. Nieuwland (Ed.), *New Insights into Structural Interpretation and Modelling*. Geological Society of London, Special Publications 212, p. 75–100.
- Dyachkov B.A., Kuz'mina O.N., Zimanovskaya N.A. et al., 2015. Types of Gold Deposits in East Kazakhstan. EKSTU Publishing House, Ust-Kamenogorsk, 204 p. (in Russian) [Дьячков Б.А., Кузьмина О.Н., Зимановская Н.А. и др. Типы золоторудных месторождений Восточного Казахстана. Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2015. 204 с.].
- Ermolov P.V., 2013. *Top Problems of Isotope Geology and Metallogeny in Kazakhstan*. Publishing and Printing Center of the Kazakh-Russian University, Karaganda, 206 p. (in Russian) [Ермолов П.В. Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана. Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2013. 206 с.].
- Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.G., Ellis D.J., Frost C.D., 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology* 42 (11), 2033–2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>.
- Geology of Gold Deposits of Kazakhstan and Central Asia, 1986. Moscow, 287 p. (in Russian) [Геология золоторудных месторождений Казахстана и Средней Азии. М., 1986. 287 с.].
- Gladkov A.S., Seminsky K.Zh., 1999. Unconventional Analysis of Fracture Belts in Mapping Subhorizontal Fault Zones (Case of the Areas in the Vicinity of Irkutsk). *Russian Geology and Geophysics* 40 (2), 213–220 (in Russian) [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].
- Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., 2008. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vol. 40. Vancouver, p. 308–311.
- Gzovsky M.V., 1975. *Fundamentals of Tectonophysics*. Nauka, Moscow, 536 p. (in Russian) [Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.].
- Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E., 2004. The Application of Laser Ablation Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to in Situ U-Pb Zircon Geochronology. *Chemical Geology* 211 (1–2), 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.
- Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Naumov E.A., Kirillov M.V., 2009. Gold in the Weathering Crust at the Suzdal' Deposit (Kazakhstan). *Russian Geology and Geophysics* 50 (3), 174–187. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2008.09.002>.
- Kalinin Yu.A., Kovalev K.R., Serdyukov A.N., Naumov E.A., Gladkov A.S., Sukhorukov V.P., Koshkarev D.A., Kirillov M.V., 2017. Zones of Vein-Disseminated Gold Ore Mineralization of the Akzhal Deposit as a Prospect for the Akzhal-Boko-Ashaly Ore Region (East Kazakhstan). In: *Minerageny of Kazakhstan. Materials of the International Scientific and Practical Conference (September 21–22, 2017)*. Almaty, p. 118–124 (in Russian) [Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Сердюков А.Н., Наумов Е.А., Гладков А.С., Сухоруков В.П., Кошкарев Д.А., Кириллов М.В. Зоны прожилково-вкрапленной золоторудной минерализации месторождения Акжал как перспектива Акжал-Бок-Ашалинского рудного района (Восточный Казахстан) // Минерагения Казахстана: Материалы Международной научно-практической

конференции (21–22 сентября 2017). Алматы, 2017. С. 118–124].

Kalinin Y.A., Palyanova G.A., Naumov E.A., Kovalev K.R., Pirajno F., 2019. Supergene Remobilization of Au in Au-Bearing Regolith Related to Orogenic Deposits: A Case Study from Kazakhstan. *Ore Geology Reviews* 109, 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.019>.

Korobeinikov A.F., Maslennikov V.V., 1994. Regularity of Formation and Placement of Deposits of Noble Metals in Northeastern Kazakhstan. Publishing House of the Tomsk University, Tomsk, 337 p. (in Russian) [Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерность формирования и размещения месторождений благородных металлов Северо-Восточного Казахстана. Томск: Изд-во Томского университета, 1994. 337 с.].

Kovalev K.R., Kalinin Yu.A., Naumov E.A., Kolesnikova M.K., Korolyuk V.N., 2011. Gold-Bearing Arsenopyrite in Eastern Kazakhstan Gold-Sulfide Deposits. *Russian Geology and Geophysics* 52 (2), 225–242 (in Russian) [Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Колесникова М.К., Королюк В.Н. Золотоносность арсенипирита золото-сульфидных месторождений Восточного Казахстана // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 2. С. 225–242].

Kovalev K.R., Kalinin Yu.A., Naumov E.A., Pirajno F., Borisenko A.S., 2009. A Mineralogical Study of the Suzdal Sediment-Hosted Gold Deposit, Kazakhstan: Implications for Ore Genesis. *Ore Geology Reviews* 35 (2), 186–206. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2008.11.007>.

Kovalev K.R., Kalinin Yu.A., Polynov V.I., Кыдырбеков Е.Л., Borisenko A.S., Naumov E.A., Netesov M.I., Klimenko A.G., Kolesnikova M.K., 2012. The Suzdal Gold-Sulfide Deposit in Black Shale Strata of East Kazakhstan. *Geology of Ore Deposits* 54 (4), 305–328 (in Russian) [Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Польшов В.И., Кыдырбеков Е.Л., Борисенко А.С., Наумов Е.А., Нетесов М.И., Клименко А.Г., Колесникова М.К. Суздальское золотосульфидное месторождение в черносланцевых толщах Восточного Казахстана // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 4. С. 305–328].

Kuchukova L.M., 1991. Deep Structure of the Akzhal-Bokonsky Gold Ore Region (East Kazakhstan) Based on the Interpretation of Geological and Geophysical Data. In: *Geophysical and Geochemical Studies in Ore Regions of Kazakhstan*. Publishing House of the Kazakh Research Institute of Mineral Raw Materials, Alma-Ata, p. 28–42 (in Russian) [Кучукова Л.М. Глубинное строение Акжал-Боконского золоторудного района (Восточный Казахстан) на основе интерпретации геолого-геофизических данных // Геофизические и геохимические исследования в рудных районах Казахстана. Алматы: Изд-во КазИМС, 1991. С. 28–42].

Kuzmenko M.A., Likhoded V.Ya., Yusupov M.Kh., 1971. The Main Results of the Work of the East Kazakhstan Geological Department, and Prospects for Increasing the Raw Material Potential of East Kazakhstan. In: *Problems of Geology and Metallogeny of East Kazakhstan*. Alma-Ata, 240 p. (in Russian) [Кузьменко М.А., Лиходед В.Я., Юсупов М.Х. Основные результаты работ Восточно-Казахстанского геологического управления и перспективы расширения

сырьевой базы Восточного Казахстана // Вопросы геологии и металлогении Восточного Казахстана. Алматы, 1971. 240 с.].

Levin G.B., 1968. Some Features of Placement of Gold Deposits and Localization of High-Grade Ores in the South-western Kalba. In: *Geology and Exploration of Solid Mineral Deposits in Kazakhstan*. Alma-Ata, p. 82–87 (in Russian) [Левин Г.Б. Некоторые особенности размещения золоторудных месторождений и локализация богатых руд в Юго-Западной Калбе // Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых Казахстана. Алматы, 1968. С. 82–87].

Lyubetsky V.N., Lyubetskaya L.D., 1984. On Relations between Kalba Gold Mineralization and the Deep Zone of Ultra-Metamorphism and Granitization. In: *Geology of Gold Deposits of Kazakhstan*. Collection of Scientific Papers. Publishing House of the Kazakh Research Institute of Mineral Raw Materials, Alma-Ata, p. 3–14 (in Russian) [Любецкий В.Н., Любецкая Л.Д. О связях золотого оруденения Калбы с глубинной зоной ультраметаморфизма и гранитизации // Геология месторождений золота Казахстана: Сборник научных трудов. Алматы: Изд-во КазИМС, 1984. С. 3–14].

Metallogeny of Kazakhstan. Ore Formations. Gold Ore Deposits, 1980. Nauka, Alma-Ata, 224 p. (in Russian) [Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд золота. Алматы: Наука, 1980. 224 с.].

Nalivaev V.I., 1980. Ore Control Structures and Principles of Predictive Assessment of the Akzhal-Boko-Ashaly Gold Ore Region (East Kazakhstan). In: *Conditions for Formation and Placement Patterns of Gold Deposits in Kazakhstan*. Publishing House of the Kazakh Research Institute of Mineral Raw Materials, Alma-Ata, p. 111–118 (in Russian) [Наливаев В.И. Рудоконтролирующие структуры и принципы прогнозной оценки Акжал-Бокко-Ашалинского золоторудного района (Восточный Казахстан) // Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. Алматы: Изд-во КазИМС, 1980. С. 111–118].

Narseev V.A., 1996. *Industrial Geology of Gold*. Nauchny Mir, Moscow, 243 p. (in Russian) [Нарсеев В.А. Промышленная геология золота. М.: Научный мир, 1996. 243 с.].

Nekipelova A.V., Kirillov M.V., Biryukov K.E., 2017. The Akzhal Gold-Sulfide Deposit (East Kazakhstan): Mineralogy, Stages of Ore Formation, and Geochronological Characteristics. In: *New Knowledge of Ore Formation Processes*. Materials of the Seventh Russian Youth Scientific and Practical School (November 13–17, 2017). Publishing House of the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, p. 223–226 (in Russian) [Некипелова А.В., Кириллов М.В., Бирюков К.Э. Золото-сульфидное месторождение Акжал (Восточный Казахстан): минералогия, стадийность формирования руд, геохронологические характеристики // Новое в познании процессов рудообразования: Сборник материалов Седьмой Российской молодежной научно-практической школы (13–17 ноября 2017). М.: Изд-во ИГЕМ РАН, 2017. С. 223–226].

Nikolaev P.N., 1992. Method of Tectonic-Dynamic Analysis. Nedra, Moscow, 295 p. (in Russian) [Николаев П.Н. Методика тектоно-динамического анализа. М.: Недра, 1992. 295 с.].

Okunev E.V., Kazakevich I.V., Nikolaev V.P., Suyundukov K.N., Sultan-Bek R.G., 1969. Geological Structure, Gold Content and Direction of Further Work in the Akzhal-Boko Ore Field. Final Report of the Yuzhno-Kalbinskaya Geological Exploration Group on Topic 35/66 and Prospecting and Exploration in 1960–1968 in the Ore Field. Collection of the Semipalatinsk Integrated Geological Exploration Expedition, Vol. 1. 255 p. Vol. 2. 211 p. (in Russian) [Окунев Э.В., Казакевич И.В., Николаев В.П., Суюндуков К.Н., Султан-Бек Р.Г. Геологическое строение, золотоносность и направление дальнейших работ в пределах рудного поля Акжал-Бокко: Окончательный отчет Южно-Калбинской ГРП по теме 35/66 и по поисковым, поисково-разведочным работам, проведенным в 1960–1968 гг. в пределах рудного поля. Акжал: Фонды Семипалатинской комплексной геолого-разведочной экспедиции, 1969. Т. 1. 255 с.; Т. 2. 211 с.].

Pavlova V.E., 1981. Structural Features of Localization of Disseminated Gold-Sulphide Mineralization in Western Kalba Deposits as a Basis for Their Assessment. In: Problems of Typification of Gold Ore Deposits and Regions, and Principles for Prediction of Gold Mineralization. TsNIGRI Publishing House, Moscow, Vol. 165, p. 49–54 (in Russian) [Павлова В.Е. Структурные особенности локализации вкрапленного золотосульфидного оруденения на месторождениях Западной Калбы как основа их оценки // Вопросы типизации золоторудных месторождений и районов и принципы прогнозирования золотого оруденения. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1981. Вып. 165. С. 49–54].

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology* 25 (4), 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>.

Seminsky K.Zh., 1994. Principles and Stages of Special Mapping of the Fault-Block Structure on the Basis of Fracturing Studies. *Russian Geology and Geophysics* 9, 112–130 (in Russian) [Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 112–130].

Serdyukov A.N., 2009. Southern Ashaly – a New Large-Volume Gold Deposit in Eastern Kazakhstan. In: Innovative Developments and Improvement of Technologies in Mining and Metallurgical Industry. Materials of the 5th

International Conference – Mining and Beneficiation. Vol. 1. Publishing House of the Eastern Mining and Metallurgical Research Institute for Non-Ferrous Metals, Ust-Kamenogorsk, p. 67–70 (in Russian) [Сердюков А.Н. Южные Ашалы – новое крупнообъемное месторождение золота в Восточном Казахстане // Инновационные разработки и совершенствование технологий в горно-металлургическом производстве: Материалы 5-й Международной конференции «Горное дело и обогащение». Усть-Каме-ногорск: Изд-во ВНИИцветмет, 2009. Т. 1. С. 67–70].

Serdyukov A.N., 2015. On Prospects of the Akzhal Gold Deposit (East Kazakhstan). *Geology and Bowels of the Earth* 1 (54), 29–35 (in Russian) [Сердюков А.Н. О перспективах золоторудного месторождения Акжал (Восточный Казахстан) // Геология и охрана недр. 2015. № 1 (54). С. 29–35].

Slama J., Kosler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., 2008. Plesovice Zircon – a New Natural Reference Material for U-Pb and Hf Isotopic Microanalysis. *Chemical Geology* 249, (1–2), 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>.

Sviridov V.G., Nalivaev V.I., Roslyakov N.A., Kalinin Y.A., 1999. Gold Deposits of the Ob-Zaisansky Folding Belt. In: Structural Analysis in Geological Research. Reports from International Science Meeting and Republic School of Young Scientists (March 31 – April 4, 1999). Tomsk, p. 221–225 (in Russian) [Свиридов В.Г., Наливаев В.И., Росляков Н.А., Калинин Ю.А. Золоторудные месторождения Обь-Зайсанской складчатой системы // Структурный анализ в геологических исследованиях: Материалы Международного научного семинара и Республиканской школы молодых ученых (31 марта – 4 апреля 1999 г.). Томск, 1999. С. 221–225].

Sylvester P.J., 1989. Post-Collisional Alkaline Granites. *Journal of Geology* 97 (3), 261–280. <https://doi.org/10.1086/629302>.

Travin A.V., 2016. Thermochronology of Early Paleozoic Collisional and Subduction–Collisional Structures of Central Asia. *Russian Geology and Geophysics* 57 (3), 553–574 (in Russian) [Травин А.В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 553–574]. <http://dx.doi.org/10.15372/GiG20160306>.

Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W., 1987. A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 95, 407–419. <https://doi.org/10.1007/BF00402202>.

Таблица 1. Химический состав диоритов, плагиигранит-порфиров и лейкоплагиигранит-порфиров месторождения Акжал

Table 1. Chemical compositions of diorites, plagiogranite porphyry and leuko-plagiogranite porphyry of the Akzhal deposit

№	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	П.п.п.	Сумма
1	AK-10	54.45	1.22	14.76	8.73	0.15	5.97	6.88	3.66	1.12	0.27	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	2.21	99.56
2	AK-11a(1)	66.91	0.53	14.95	3.12	0.04	1.95	3.03	3.84	3.4	0.16	0.07	0.05	0.01	0.01	0.01	1.59	99.67
3	AK-11b(1)	58.07	0.75	16.09	5.63	0.10	4.15	5.24	4.45	2.13	0.25	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	2.07	99.04
4	AK-12	53.55	1.14	15.57	7.26	0.11	5.96	5.76	4.16	1.74	0.29	0.05	0.06	0.03	0.04	0.01	3.53	99.26
5	AK-14	50.77	0.77	15.65	7.45	0.14	4.10	7.15	3.79	1.07	0.17	0.02	0.40	0.03	0.01	0	7.67	99.18
6	AK-15	69.34	0.36	15.45	2.54	0.06	0.55	1.20	3.89	2.91	0.13	0.05	0.07	0.01	0	0	2.65	99.23
7	AK-16	66.52	0.34	15.77	2.24	0.02	0.99	3.26	4.25	1.58	0.12	0.05	0.21	0.01	0	0	3.91	99.27
8	AK-17	73.33	0.29	13.64	2.56	0.11	0.33	0.43	3.51	2.30	0.10	0.04	0.02	0	0.01	0	2.41	99.07
9	AK-20	64.12	0.43	15.78	3.01	0.04	1.18	3.24	3.71	3.01	0.17	0.07	0.22	0.01	0	0	4.29	99.29
10	AK-598/50	67.98	0.34	14.56	2.60	0.08	1.56	1.78	2.17	3.46	0.19	0.05	0.32	0.01	0.01	0	3.95	99.06
11	AK-599/116	66.43	0.33	14.66	2.73	0.08	1.21	2.51	3.27	3.29	0.13	0.05	0.26	0.01	0.01	0	4.34	99.32
12	AK-600/283	66.95	0.35	14.86	2.58	0.06	0.88	2.35	4.29	2.57	0.13	0.06	0.18	0.01	0.01	0	3.97	99.25
13	AK-600/340.5	67.24	0.45	15.86	2.76	0.06	0.92	1.78	4.13	2.77	0.19	0.07	0.52	0	0	0	2.83	99.58
14	AK-600/394.5	68.95	0.33	14.08	2.33	0.05	0.91	2.04	3.72	2.45	0.16	0.07	0.1	0.01	0	0	3.67	98.85
15	AK-605/237	68.25	0.38	16.25	1.86	0.05	0.72	1.34	3.88	2.76	0.12	0.06	0.43	0.01	0	0	2.85	98.96
16	AK-605/278	67.06	0.35	14.97	2.84	0.05	0.96	1.91	3.76	2.77	0.13	0.05	0.19	0.01	0	0	3.98	99.04
17	AK-621/335	56.70	0.94	17.20	5.80	0.09	3.59	5.88	4.42	1.86	0.23	0.05	0.17	0.02	0.02	0.01	2.04	99.03

Примечание. 1 – диорит; 2 – кварцевый диорит; 3 – диорит; 4 – диорит; 5 – кварцевый диорит; 6 – риодацит; 7 – дацит; 8 – риолит; 9–16 – дацит; 17 – диорит. Fe₂O₃* – суммарное железо.

Notes. 1 – diorite; 2 – quartz diorite; 3 – diorite; 4 – diorite; 5 – quartz diorite; 6 – rhyodacite; 7 – dacite; 8 – rhyolite; 9–16 – dacite; 17 – diorite. Fe₂O₃* – total iron.

Таблица 2. Химический состав гранит- и гранодиорит-порфиров Ашалы-Даубайской площади, мас. %

Table 2. Chemical compositions of granite- and granodiorite porphyries of the Ashaly-Daubai field, wt. %

Участок	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	П.п.п.	Сумма
Аскар	1002	61.21	0.70	16.51	5.48	0.10	2.35	3.25	5.30	1.94	0.19	0.08	0.07	0.02	<0.01	0.01	2.87	100.05
	1005	63.70	0.67	16.54	4.39	0.05	2.43	2.63	5.29	0.47	0.18	0.03	<0.03	0.01	<0.01	0.01	2.79	99.24
	1006/2(503)	66.38	0.56	16.32	2.28	0.03	1.50	2.86	6.96	0.19	0.16	0.01	<0.03	0.01	<0.01	0.01	1.98	99.27
	1125	65.65	0.55	16.17	1.40	0.05	1.55	3.65	7.43	0.14	0.16	0.01	0.07	0.01	<0.01	0.01	3.06	99.91
	В-5	65.06	0.49	15.83	3.53	0.08	1.37	2.60	3.98	2.31	0.15	0.06	0.13	0.01	<0.01	0.01	3.72	99.32
	В-6	65.19	0.61	17.03	1.39	0.04	1.66	4.23	6.62	0.15	0.16	0.01	0.09	0.01	<0.01	0.01	2.05	99.25
	АШ-20	65.27	0.55	15.65	4.21	0.05	1.58	4.02	4.48	1.81	0.16	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01	1.62	99.54
	АШ-20\1	65.23	0.56	15.97	4.03	0.05	1.72	3.32	4.48	2.19	0.17	0.09	0.03	0.01	0.00	0.01	1.60	99.45
	АШ-21	66.30	0.53	15.88	4.05	0.04	1.59	3.10	4.59	2.54	0.15	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	1.20	100.08
	АШ-21/1	65.14	0.53	16.01	3.77	0.04	1.59	3.03	4.88	2.18	0.14	0.06	0.07	0.01	0.00	0.00	2.16	99.60
	АШ-22	64.01	0.59	16.43	3.16	0.04	2.12	3.48	5.66	2.43	0.15	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01	1.20	99.41
	АШ-22/1	64.28	0.57	16.51	2.94	0.04	2.03	3.31	5.75	2.30	0.15	0.11	0.02	0.01	0.00	0.01	1.14	99.17
	АШ-24	65.91	0.53	16.26	1.46	0.03	1.31	3.78	6.88	0.54	0.17	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	2.42	99.39
АШ-24/1	66.27	0.51	16.57	1.34	0.03	1.28	3.31	6.75	0.61	0.17	0.02	0.24	0.01	0.00	0.01	1.97	99.09	
Тенинский	803	67.76	0.41	15.64	3.08	0.05	0.95	1.63	6.61	0.98	0.16	0.04	0.16	0.01	0.00	0.01	1.95	99.43
Ю. Ашалы	АШ-48	66.16	0.53	16.46	4.84	0.05	0.92	1.04	3.73	2.48	0.26	0.03	0.08	0.01	0.00	0.00	2.66	99.25
	АШ-48\1	67.32	0.50	16.01	4.41	0.04	0.68	1.36	5.03	1.74	0.26	0.03	0.05	0.01	0.00	0.00	1.80	99.24
	АШ-48\2	66.21	0.52	15.75	4.72	0.04	0.86	1.74	5.09	1.46	0.25	0.02	0.31	0.01	0.00	0.00	2.44	99.44
	АШ-48\3	66.32	0.51	16.41	4.76	0.05	0.88	1.09	3.62	2.53	0.26	0.03	0.09	0.01	0.00	0.00	2.75	99.32
	АШ-48\5	66.21	0.52	16.05	4.63	0.05	0.87	1.52	4.57	1.91	0.26	0.03	0.30	0.01	0.00	0.00	2.42	99.35
	АШ-244/5	61.38	0.58	15.69	4.85	0.05	1.33	2.41	7.51	0.20	0.29	0.02	0.38	0.01	<0.01	0.01	5.07	99.78
Аномальный	Ан-1/1	64.84	0.51	15.53	4.41	0.06	0.77	2.73	4.33	1.97	0.26	0.04	0.12	0.01	<0.01	0.01	3.80	99.38
Президент	919	66.38	0.45	15.86	3.51	0.08	0.58	1.90	6.02	1.89	0.16	0.07	0.13	0.01	<0.01	0.01	2.93	99.97
	924	68.23	0.44	14.98	2.89	0.06	0.37	2.12	5.24	1.85	0.14	0.06	0.06	0.01	<0.01	0.01	3.03	99.49
	АШ-34	67.00	0.46	15.34	3.48	0.06	0.35	1.97	6.34	1.42	0.13	0.08	0.10	0.01	0.00	0.00	2.33	99.08
Даубай	905	61.62	0.81	17.79	5.39	0.02	0.33	1.71	6.56	1.91	0.21	0.29	0.19	0.01	<0.01	0.01	2.53	99.38
	1009	69.67	0.46	15.46	2.51	0.08	0.20	1.86	4.32	2.26	0.16	0.07	0.06	0.01	<0.01	0.01	2.98	100.10
	1011	59.26	0.62	16.44	4.87	0.08	0.40	4.74	3.96	2.44	0.14	0.16	0.08	0.02	<0.01	0.01	5.93	99.15

Примечание. Fe₂O₃* – суммарное железо. Анализы выполнены в ЦКП МИИ СО РАН (г. Новосибирск).

Note. Fe₂O₃* – total iron. Analyses were performed at the Center for Shared Use of Scientific Equipment for Multi-Element and Isotope Research SB RAS, Novosibirsk.