



ЗОЛОТО В МАССИВАХ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ В НЕЙ КРУПНООБЪЕМНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г. Н. Черкасов

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск

Приводятся факты золотоносности вторичных кварцитов Алтае-Саянской складчатой области (АССО). Указывается на связь их формирования с периодами тектономагматической активизации с проявлением контрастного габбро-гранитного магматизма щелочной ветви. Рассматривается роль золотых кластеров, составляющих часть общего золота и влияющих на аналитические технологии определения его содержаний во вторичных кварцитах. Предполагается магматическая природа большинства золотокварцевых, золото-сульфидно-кварцевых жил заключительной стадии формирования березитовых метасоматитов.

Ключевые слова: золото, щелочной габбро-гранитный магматизм, кварцевые жилы, вторичные кварциты, тектономагматическая активизация, золотые кластеры.

GOLD IN SECONDARY QUARTZ ROCK MASSIFS IN THE WESTERN ALTAI-SAYAN FOLDED REGION AND PROSPECTS FOR DISCOVERING LARGE-VOLUME GOLD-ORE DEPOSITS THERE

G. N. Cherkasov

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk

The article proves gold bearing potential of secondary quartz rocks in the Altai-Sayan folded region. The formation of the rocks is confined to the periods of tectonomagmatic activation with appearance of contrast gabbro-granite magmatism of the alkaline nature. The article discusses geochemical positions of gold-silica syngeneses, the role of gold clusters being a part of the common gold deposit and having impact on the analysis of gold content in secondary quartz rocks. It is assumed that most gold-quartz and gold-sulphide-quartz veins of the final stage of formation of beresite metasomatites are of magmatic mature.

Keywords: gold, alkaline gabbro-granite magmatism, quartz veins, secondary quartzites, tectonomagmatic activation, gold clusters.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-4-53-62

По определению Н. И. Наковника [11], вторичные кварциты являются продуктом приповерхностной трансформации эффузивных, вулканогенных, терригенных и даже карбонатных пород (месторождение Юзик, Кузнецкий Алатау [14]) газовыми и газовой-жидкими флюидами кислых субвулканических экструзий и интрузий щелочного ряда, которые часто представляют собой апофизы крупного залегающего на глубине батолита. Это осветленные окварцованные или опализированные (в молодых системах) породы, состоящие из кварца, халцедона, опала с различными типами рудной минерализации, в том числе и золота.

Распределение золота в массиве вторичных кварцитов крайне неравномерное. Оно концентрируется в зонах дробления в форме отдельных жил, штокверков, рудных столбов или вкрапленно-минерализованных участков, а также в зонах интенсивной сульфидизации, обычно локализующейся в основании кварцитового массива. Часто такие зоны сопровождаются графитизацией, и тогда, кроме Au, в них концентрируются Ag, Os, Ir, Pd, Pt, реже U и даже алмазы [5]. При эрозии такие руды не дают россыпей,

либо золото вокруг месторождения изредка встречается в единичных знаках в шлихах. Руды обычно упорные, но современные технологии обеспечивают их рентабельную переработку. Преимущество золотого оруденения в массивах вторичных кварцитов перед другими типами в том, что в них довольно часто встречаются крупнообъемные месторождения с ресурсами свыше 100 т Au. В США подобные месторождения считаются промышленно интересными начиная с содержаний в породах Au 0,5 г/т [18].

Формирование массивов вторичных кварцитов характерно для орогенной стадии развития подвижных бассейнов, либо для этапов тектономагматической активизации консолидированных складчатых областей. Можно выделить три типа золоторудных месторождений, связанных с массивами метасоматических (вторичных) кварцитов: а) золотокварцитовые, б) золотополиметаллические (Au-колчеданные, Au-Cu-порфировые, Au-Ag-полиметаллические), в) комбинированные (Au-глиноземные, Au-платиноидные, U-Au-платиноидные).

Состояние проблемы. К началу 1960-х гг. в СССР в массивах вторичных кварцитов были уста-



новлены и частично разрабатывались месторождения полиметаллов с Au и Ag (Кварцитовая Сопка на Салаире в АССО), золота и серебра (Белая Гора в Хабаровском крае, Озерновское на Камчатке [12]), ртути, сурьмы, золота в Северном Прибалхашье и Чу-Илийских горах Казахстана, меди и молибдена (Коунрад в Казахстане) [9], цинка, меди и пирита с Au (Гайское на Южном Урале) [10].

К середине 1960-х гг. интенсивные исследования массивов вторичных кварцитов в СССР были прекращены. В зарубежной же практике они продолжались практически непрерывно с акцентом на золото, и к настоящему времени золотое оруденение (вплоть до промышленного) зафиксировано в массивах силлиманитовых, алунитовых, диксит-серицитовых (агальматолитовых) вторичных кварцитов в Китае [20], в Мужиевском месторождении в дикситовых вторичных кварцитах в Закарпатье [8], в алунит-серицитовых (проявление Брезник в Болгарии, на котором работы еще не закончены) [19], диаспор-серицитовых (онкозитовых) [4], пиррофиллитовых, диаспор-пиррофиллитовых [7] вторичных кварцитах в Болгарии, кианитовых на Полярном Урале [17].

Массивы вторичных кварцитов АССО различного состава и возраста известны во многих районах. На Салаире с 1931 г. разрабатывается сульфидно-полиметаллическое месторождение Кварцитовая Сопка (площадь 3,2 км²). Слагается оно серицитовыми вторичными кварцитами, сформировавшимися в зоне интенсивного смятия сланцев гавриловской свиты (E_1), разбитой серией разломов и прорванной интрузией кератофилов (E_2). Рудные тела во вторичных кварцитах представляют собой неправильные, осложненные апофизами линзы. Руды серицит-барит-сульфидно-кварцевые, содержащие (г/т) Au 0,1–1,6 и Ag 8,5–570,0, которые входят в состав сульфидов (в основном в пирит, пирротин и арсенопирит). Сейчас месторождение на 70–80 % уже отработано, но тем не менее в оставшихся рудах на балансе числится еще 15 т золота. По запасам рудного золота по категориям A+B+C₁ и C₂ в одном месторождении оно пока остается самым крупным на Салаире.

В 30 км к северо-западу от него на северо-восточной окраине Урского полиметаллического рудного узла располагается еще один массив вторичных кварцитов – г. Копна (площадь 2,6 км²), сложенная серицитовыми и топазовыми вторичными кварцитами, ресурсы которых по категории P₁ определены в 241 млн т (рис. 1). Сформировались кварциты по зелено-серым глинисто-хлоритовым сланцам, дацитовым порфирам, туфам и туфобрекчиям печеркинской свиты E_1 , причем по сланцам это серицитовые кварциты, вплоть до серицитолитов, а по вулканогенным разностям – топазовые, образующие рудные столбы (рис. 2) с содержанием топаза 15–30 %.

Особенно широко топаз развивается по трещинам в кварцитах совместно с серицитом, ино-

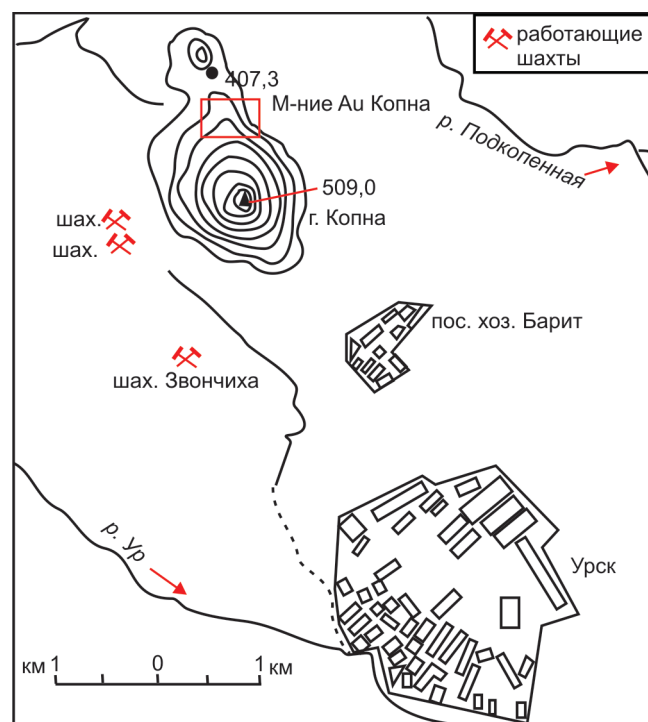


Рис. 1. Месторождение золотоносных топазовых кварцитов г. Копна в окрестностях Урска (Салаир)

гда с пиритом и кварцевыми жилами, а в брекчиях, встречающихся в разломах по зонам вторичного окварцевания, его количество участками достигает 100 %. С целью поиска полиметаллического оруденения на северном выположенном склоне г. Копна были пройдены три профиля колонковых скважин. Полиметаллическое оруденение не обнаружено, но опробование показало, что вторичные кварциты золотоносны, хотя и не по всему полю, а только, по видимому, по зонам разломов [1]. В исследованном поле таких зон установлено шесть шириной от 2 до 45 м; в них участками вторичные кварциты брекчированы, пиритизированы или пронизаны массой жилок вторичного серого кварца, визуально трудно отличимого от вмещающего первичного. Концентрация золота по топазовым зонам довольно высокая (от 0,79 до 96,0, в секущих кварцевых жилах до 171,4 г/т), хотя и распределено оно весьма неравномерно. Из серицитовых кварцитов проанализировано 35 проб (скв. P-21-к, P-61-к, P-65-к), содержания Au составили 0,01–0,41 г/т. В пределах зоны топазовых кварцитов по скв. P-88-к, пройденной по рудному столбу (основной профиль), проанализировано 13 проб, во всех содержания Au от 0,8 до 39,5 г/т. Выявлено, что золото концентрируется в пирите, кварце и топазе. В настоящее время золото-топаз-кварцитовое месторождение г. Копна находится в стадии разведки. Установленные ресурсы Au по категориям P₁+P₂ пока составляют 20,8 т. Запасы по категории C₂ подсчитаны и утверждены ТКЗ в 1998 г. только по небольшому блоку, включающему серицитовые и топазовые кварциты и расположенному у юго-западной границы месторождения, где в 1980-х гг. при поисковых работах на полиметаллы

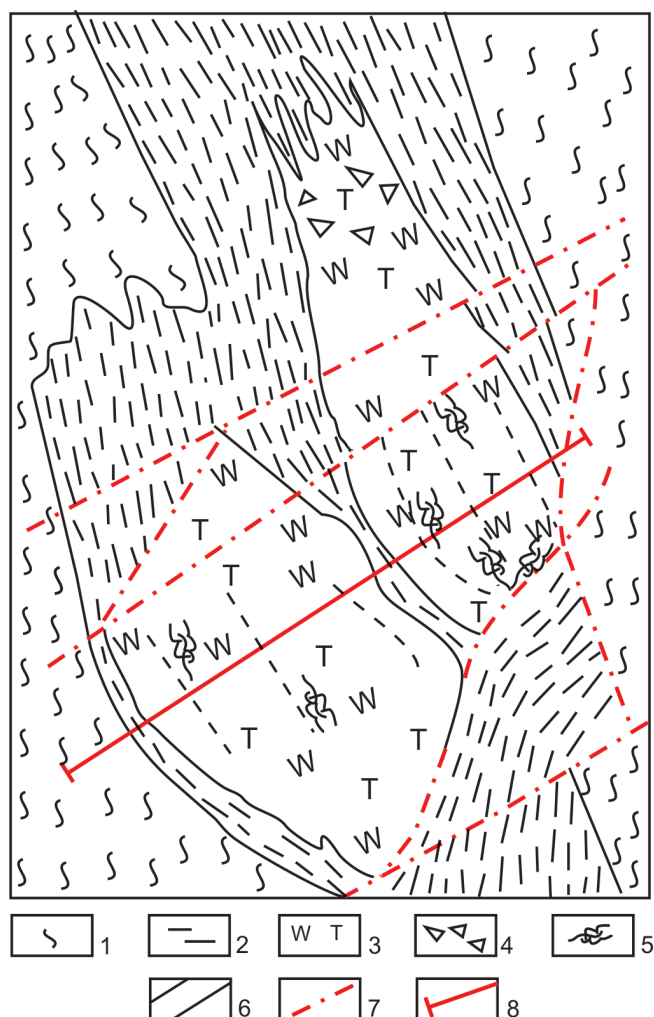


Рис. 2. Геологическая схема золоторудного месторождения г. Копна [1]

1 – сланцы хлоритовые; 2–3 – вторичные кварциты: 2 – серицитовые, 3 – топазовые; 4 – брекчированные топазовые кварциты; 5 – зона сближенных кварцевых жил; 6 – геологические границы; 7 – тектонические нарушения; 8 – линия разведочного профиля

пройдена штольня, частично захватившая его край, сложенный топазовыми кварцитами. В выделенном блоке (чуть больше 2,0 млн т руды) среднее содержание Au составило 2,044 г/т. В русловом аллювии водотоков, берущих свое начало вблизи г. Копна, знаков золота в шлихах не обнаружено.

В Горной Шории известно Ортон-Федоровское золоторудное поле размером (12–20)×45 км, сложенное толщей метаморфических хлорит-амфиболовых сланцев E_1 . Последние сформированы по осадочным и вулканогенным породам, подпираемым снизу гранит-гранодиорит-диоритовой интрузией садринского комплекса E_{2-3} , которая трансформировала низы этой толщи в метасоматические кварциты кальцит-анкерит-сульфид-серицитового состава, часто пронизанные кварцевыми и сульфидно-кварцевыми жилами. Метасоматические кварциты вместе с апофизами интрузии вскрываются в современных относительно небольших эрозионных окнах на водоразделах и в береговых обрывах рр. Ортон, Федо-

ровка, Базой и их притоках. Исключение составляет г. Кадетугей (Кварцитовая) (рис. 3) площадью 3,1 км² с ресурсами кварцитов более 150 млн т. В кварцитах по поверхности горы, рассекаемой разломом, зафиксирована сереброполиметаллическая (Ag-Cu-Pb-Zn) минерализация (золото не определялось), а в руслах сухих правых притоков р. Ортон, берущих начало со склонов г. Кадетугей, в шлихах из руслового аллювия встречаются единичные знаки золота. Крупные стабильные водотоки (рр. Большой и Малый Ортон, Базой, Федоровка), секущие указанное золоторудное поле, содержат в русле и пойме промышленные золотошеелитовые россыпи, из которых уже добыто 23 т учтенного благородного металла. Источником золота в россыпи являются кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы, часто включающие видимое относительно крупное золото. Содержания его в жилах колеблются от 0,1 до 160,0 г/т, в некоторых мелких «кустах» до ураганного (свыше 1000,0 г/т). С одного такого «куста» старателями добыто 50 кг Au. Контактных изменений кварцевых жил с метасоматитами не отмечено. В самих же метасоматических кварцитах и в сульфидах золото тонкое, визуальное почти не наблюдаемое. Содержания его небольшие (0,01–3,50 г/т), поэтому старатели не обращают внимания на кварциты, хотя в таком крупном рудном поле ресурсы золота в целом могут оказаться громадными, поскольку здесь в метасоматическую переработку втянут не один десяток миллиардов тонн терригенно-вулканогенных пород и фиксируются коренные проявления золота как в кварцевых и сульфидно-кварцевых жилах, так и во вмещающих их метасоматических кварцитах (см. рис. 3).

Массивы метасоматических кварцитов различного состава и возраста в рельефе часто выделяются в виде сопки высотой 100–750 м (во многих районах Сибири и Дальнего Востока). Параметры их варьируют в широких пределах, и запасы кварцитов колеблются от 80 млн т (г. Сары-Хая, Тува) до 8,7 млрд т (алунит-кварцитовый массив в истоках р. Юрьевой, о. Парамушир, Курилы [6]), а следовательно, и золоторудные месторождения в них могут быть крупнообъемными с запасами в несколько сотен тонн Au. Это обеспечило бы стабильную работу и развитие горнорудных предприятий на многие десятки лет, что особенно важно для старых золотодобывающих районов Сибири со сложившейся инфраструктурой, но с истощенными разведанными запасами сырья.

Истощение золоторудной базы Артемовского рудника и перспективы ее укрепления. Рудник расположен в Курагинском районе Красноярского края. Он основан в 1913 г. на базе крупного Ольховского месторождения жильного золота (Au 3,754 г/т). Уже к 1958 г. на руднике было добыто 51 т Au. В настоящее время месторождение практически отработано: остаток балансовых запасов золота на 01.01.02 г. составляет всего около 0,26 т. Еще меньше их осталось на Медвежьем месторождении

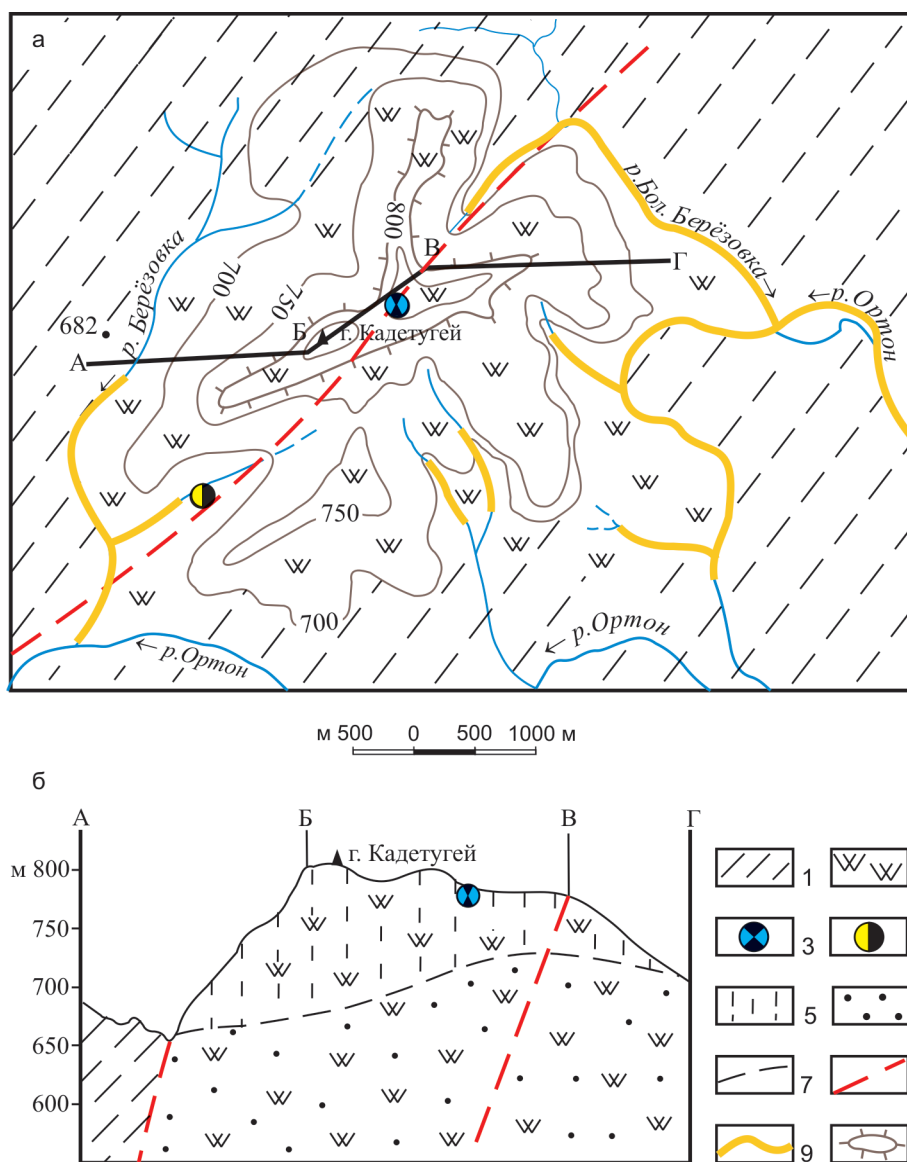


Рис. 3. Геологический план (а) и разрез (б) г. Кадетугей (р. Ортон, Горная Шория). Сост. Г. Н. Черкасов (по материалам геологических съемок и результатам работ СНИИГГиМС), 2007 г.

1 – венд-нижнекембрийские сланцы с горизонтами мраморов; 2 – метасоматические кварциты; 3 – Ag-Cu-Pb-Zn г. Кадетугей; 4 – проявление жильного золота кл. Козылах; 5 – полиметаллическая минерализация в кварцитах; 6 – золотоносные кварциты; 7 – граница появления золотоносных кварцитов в разрезе; 8 – разломы; 9 – золотоносные россыпи; 10 – границы плоской поверхности г. Кадетугей

жильного золота, расположенном на юго-западной окраине рудника. Из-за сложных гидрогеологических условий законсервировано Константиновское (Чибижеское) золоторудное месторождение (Au 12,797 г/т), не разрабатывается мелкое Лысогорское месторождение (Au 12,604 г/т). В настоящее время рудник функционирует в основном за счет отработки остатков золотоносных россыпей р. Сисим и ее притоков. Ввод в эксплуатацию двух последних месторождений мог бы на какое-то время продлить работу рудника, но в целом проблему его сырьевой базы они не решают. Для стабильной долгосрочной работы рудника необходимы одно-два крупнообъемных месторождения с ресурсами в несколько сотен тонн металла. В Курагинском и Каратузском районах Красноярского края на стыке Западного и Восточного Саянов известно пять массивов вторичных кварцитов, расположенных в бассейнах рр. Казыр (Базыбайское месторождение силлиманитовых) и Нижняя Мамрата (Нижнемамратское алунит-андалузитовых вторичных кварцитов, изучавшихся ранее в качестве месторождений небокситового глиноземного сырья [13]) (рис. 4).

Базыбайское месторождение расположено в междуречье Базыбая и Казыра (рис. 5). Район месторождения представляет собой вытянутый в субширотном направлении горст размером 22×58 км. В геологическом строении горста участвуют нижнепротерозойские гнейсы и кристаллические сланцы базыбайской свиты. Она залегает в виде антиклинальной складки с гофрированными крыльями, прорванной вдоль шарнира в западной части Булкинским габбро-диоритовым, а в восточной – Ольховским гранодиорит-плагиогранитовым комплексами, являющимися, по мнению ряда исследователей, составными компонентами единого расслоенного интрузива (Базыбайский массив). Западная часть Базыбайского массива более приподнята и эродирована сильнее, чем восточная, поэтому здесь вскрываются в основном габбро, габбро-диориты и диориты. В восточной части массива сохранились верхи расслоенной интрузии, представленные гранодиоритами и плагиогранитами (см. рис. 5). Абсолютный возраст интрузии 509–522 млн лет (K-Ar метод), что отвечает ϵ_{1-2} (по международной шкале 2004 г.). Восточная часть интрузии окружена мел-

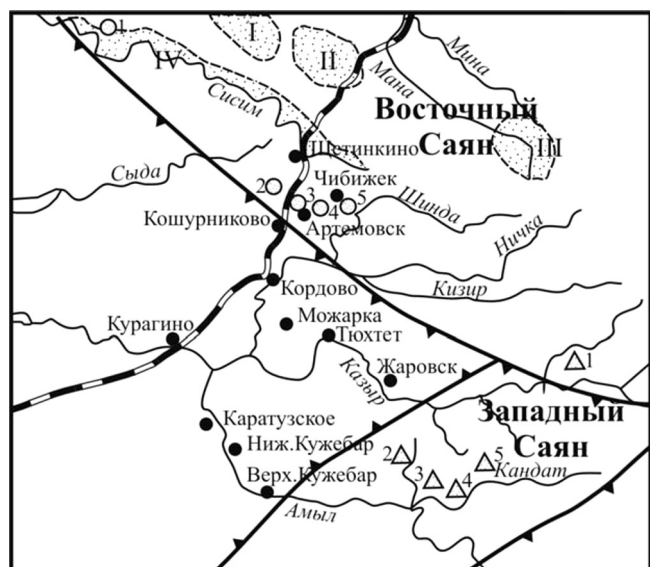


Рис. 4. Обзорная схема зоны сочленения Западного и Восточного Саянов

1 – рудно-россыпные узлы (I – Тубиль-Дербинский, II – Кувайско-Жайминский, III – Верхнеманский, IV – Сисимский); 2 – коренные месторождения золота (1 – Белокварцевое, 2 – Лысогорское, 3 – Медвежье, 4 – Ольховское, 5 – Чибижеское); 3 – массивы метасоматических (вторичных) кварцитов, перспективных на крупнообъемные золоторудные месторождения (1 – Базыбайский, 2 – Нижнемамратский, 3 – Верхнемамратский, 4 – Кандатский, 5 – Левочетский); 4 – железная дорога; 5 – границы Западного и Восточного Саянов

кими телами пегматитов и двуслюдяных калиевых гранитов (абсолютный возраст 480 млн лет – O_1). В северном и южном обрамлении восточной части интрузии установлено шесть точек силлиманитового оруденения, из которых наиболее изучено Базыбайское месторождение.

На месторождении проведены поисково-оценочные работы с проходкой шурфов и канав, подсчитаны прогнозные ресурсы руд и выполнены технологические исследования на укрупненных пробах весом 0,25–0,53 т с целью получения кварцевых, пиритовых и, главным образом, силлиманитовых концентратов. Базыбайское месторождение (в контуре 4×9 км) представлено двумя крупными рудными залежами произвольных очертаний (Северная залежь 1700×(10–200) м, Южная 2300×(50–210) м), которые образуют положительные формы рельефа, в значительной части выходящие на дневную поверхность. Они хорошо обнажены, вскрыты эрозией на глубину до 300 м. Рельеф на месторождении довольно расчлененный. В пределах месторождения окварцеванию и силлиманитизации подверглись докембрийские гнейсы и кембрийские габбро, габбро-диориты и плагиограниты. Каких-либо следов изменения двуслюдяных калиевых гранитов и пегматитов нижнего ордовика не отмечается. По-видимому, эманации именно этой гранитной

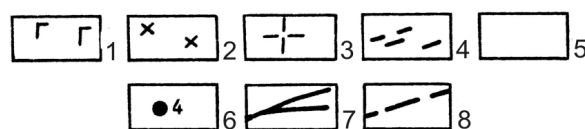
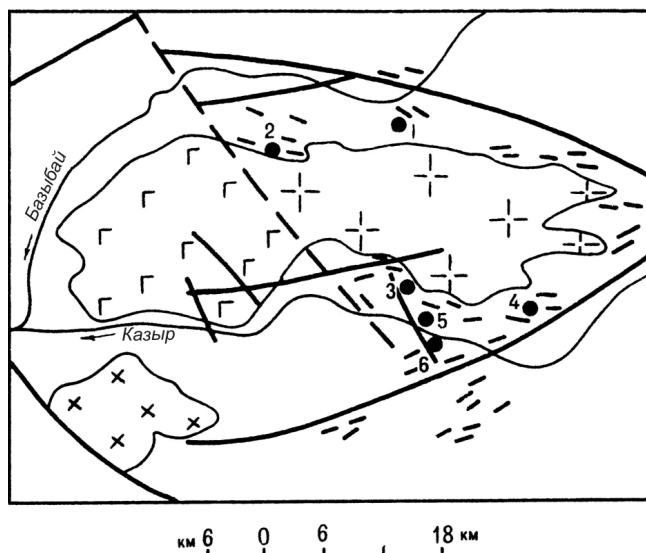


Рис. 5. Схематическая карта размещения силлиманитовых проявлений Базыбай-Казырского междуречья. Сост. Г. Н. Черкасов (по материалам ПГО «Красноярскгеология» и СНИИГГИМС), 1987 г.

1 – габбро, габбро-диориты, диориты; 2 – диориты, 3 – гранодиориты, плагиограниты; 4 – жилы и дайки калиевых высокоглиноземистых гранитов и пегматитов щелочной ветви; 5 – четвертичный покров; 6 – проявление силлиманита и его номер (1 – Кедровское, 2 – Базыбайское, 3 – Высоты 1190,6, 4 – Казырское 1, 5 – Казырское 2, 6 – Бочуринское); 7–8 – разломы: 7 – установленные, 8 – предполагаемые

магмы в близповерхностных условиях и трансформировали породы субстрата в силлиманитовые метасоматические кварциты. Косвенно об этом свидетельствуют и концентрации фтора: в исходных породах 515–850 г/т, в калиевых гранитах и пегматитах 1300–3500 г/т, в силлиманитовых вторичных кварцитах 1002–3170 г/т [16]. Окраска вторичных кварцитов белая, серовато- и розовато-белая, что четко выделяет их на фоне темно-серых и черных вмещающих пород. Контакт руд со средними и кислыми вмещающими породами резкий, с габбро – через маломощную (0,3–0,5 м) кварц-хлоритовую зону. Структура руд мелко-, средне- и крупнозернистая. Основные минералы руд – кварц (32–85 %) двух генераций: белый реликтовый из исходных пород и серый аутигенный, сингенетичный вторичным кварцитам; силлиманит (14–55 %), мусковит (0,5–8,5 %), рутил (0,1–7,4 %), пирит (0,4–3,7 %), топаз (0–1,5 %), магнетит, халькопирит, сера.

В краевых частях рудных залежей, вблизи контакта с вмещающими породами, в зависимости от состава последних, в рудах фиксируются хлорит, корродированные серым кварцем пироксены и амфиболы, микроклин, мусковитизированный биотит, гранат и циркон. В зонах разломов северо-запад-



ного простираются часто появляются монакварциты (кварц 79–90 %, силлиманит до 14 %), состоящие из белого и серого кварца, интенсивно пиритизированные и пропыленные графитом, который придает светлым породам черно-серую окраску, включает иглы силлиманита, примесь халькопирита, изредка шпинели. Здесь же встречаются послойные и секущие прожилки кварц-силлиманитового состава мощностью 1,0–10,2 см с примесью пирита, рутила, магнетита, мусковита и топаза, уходящие иногда во вмещающие породы, в том числе и неизменные. Участками в рудах по разломам фиксируется эпигенетическое ожелезнение (гетит, гидрогетит, лимонит, ярозит), придающее им желто-бурую окраску. Руды подверглись бороздovому и штуфному опробованию. Из малых элементов обращают на себя внимание мышьяк (до 90 г/т), средние концентрации которого по месторождению в зависимости от типа руд в 16,7–25,5 раз превышают его кларк в литосфере, а в кварц-силлиманитовых жилах отмечаются (г/т): Мо до 30, W до 10, Sn до 5–10 и TiO₂ до 7,4 %. Предположительно, золото в форме изоморфной примеси находится в пирите. Изотопный состав серы ($\delta^{34}\text{S} = -0,5...-12,9 \text{ ‰}$), определенный из сульфидного концентрата, показал, что сера в основном магматического происхождения. Спустя несколько лет этот сульфидный концентрат подвергся атомно-абсорбционному анализу на Au, показавшему его содержание 9,931 г/т. Тогда были сделаны еще три аналогичных анализа на Au из штуфных проб силлиманитовых руд, взятых ранее с профиля геохимического опробования (т. н. 101Н). Получены содержания 1,003–1,101 г/т. Графитизированные силлиманит-сульфидные руды на платиноиды не проверялись А. Д. Заболотским (ПГО «Красноярскгеология»), проводившим на месторождении поисковые работы, прогнозные ресурсы руд (метасоматических кварцитов) оценены по категориям P₂ в 283,8 млн т, P₃ в 129,2 млн т (протокол № 465 НТС ПГО «Красноярскгеология» от 19.12.83 г.).

В процессе технологических исследований было подсчитано, что, исходя из прогнозных ресурсов (P₂+P₃ 413 млн т метасоматических кварцитов), извлекаемые при обогащении полезные concentra-

ты составят (млн т): силлиманитовый 112,6 (46,3 % Al₂O₃), кварцевый 182,2 (97,6 % SiO₂) и сульфидный 18,2 (42–46 % S) [15]. Только в сульфидном концентрате при содержании Au 9,931 г/т и коэффициенте достоверности 0,5 прогнозные ресурсы золота по категории P₃ можно оценить в 87,9 т. Для остальных 394,8 млн т метасоматических кварцитов при содержании Au 1 г/т и коэффициенте достоверности 0,2 его прогнозные ресурсы по категории P₃ могут составить 79,0 т, т. е. 166,8 т по всему месторождению. Ни в русле р. Соболинка, истоки которой в 2 км юго-западнее месторождения, ни в русле руч. Поперечный в 2,5 км восточнее месторождения золота в шлихах из руслового аллювия не обнаружено, хотя севернее, в верховьях р. Базыбай, в левом ее борту, геологами-съемщиками отмечена небольшая зона аналогичных сульфидизированных метасоматитов, около которых в русловом аллювии золото зафиксировано.

Второй интересный объект, установленный Л. А. Лирой (ПГО «Красноярскгеология») в 1963 г., – Нижнемамратский массив алунит-андалузитовых метасоматических кварцитов, расположенный в Каратузском районе Красноярского края, в среднем течении р. Нижняя Мамрата, правого притока р. Кандат, впадающей справа в р. Амыл (рис. 6) [2]. Массив приурочен к юго-западному окончанию Мамратской брахисинклинали, сложенной в ядре вулканогенными породами тонской свиты (D₂), а на крыльях – образованиями имирской свиты (S₂²–D₁), которая прорывается по разломам мелкими штоками щелочных гранодиоритов, граносиенитов и гранитов лутагского комплекса D₂. Последние являются, по-видимому, апофизами единой крупной интрузии сложного строения, залегающей на глубине, газово-жидкий флюид которой и преобразовал в метасоматические кварциты надынтрузивные породы (на 60 % пестроцветные туфы, туфоконгломераты, лавобрекчии и туфолавы, 40 % – порфириды, трахиандезиты, альбитофиры и кварцевые порфиры). Массив четко выражен в рельефе в виде хорошо обнаженной вытянутой гряды, пересекаемой по южному краю р. Нижняя Мамрата, и возвышается над ее зеркалом на 313 м. Площадь измененных

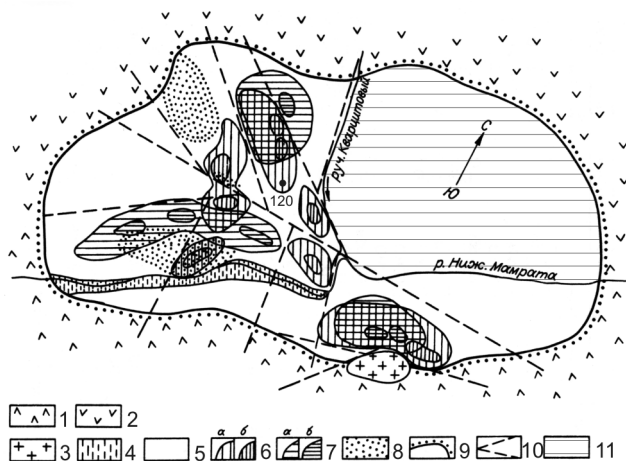


Рис. 6. Схема распределения алунита и андалузита в поле каолинит-серицитовых кварцитов проявления Нижнемамратское. Сост. Г. Н. Черкасов (по материалам ПГО «Красноярскгеология» и СНИИГГиМС), 1984 г.

1 – нижнедевонские образования, преимущественно вулканогенно-осадочные; 2 – лавы различного состава; 3 – гранитоиды лутагского комплекса среднего девона; 4–7 – вторичные кварциты: 4 – монакварциты, 5 – каолинит-серицитовые, 6 – алунитовые с содержаниями алунита: а – 10–35 %, б – свыше 35 %, 7 – андалузитовые с содержанием андалузита: а – 10–35 %, б – свыше 35 %; 8 – площади прожилковой и вкрапленной корундовой минерализации; 9 – граница поля вторичных кварцитов; 10 – разломы; 11 – не изученная часть поля вторичных кварцитов



пород 4,5 км² (1500×3000 м). На массиве проведены общие поисковые и тематические работы по изучению кварцитов в качестве потенциальных алюминиевых руд.

В процесс метасоматоза вовлечено 1,310 млрд т исходных пород, трансформировавшихся в 1,455 млрд т метасоматических кварцитов пяти видов: каолинит-серицитовые, андалузитовые, алунитовые, алунит-андалузитовые и интенсивно сульфидизированные монокварциты. Кварциты белые, серовато- и розовато-белые плотные афанитовые и сахаровидные, четко выделяются на фоне более темных вмещающих пород. Сложены (%): кварцем (37,5–97,5), серицитом, мусковитом (до 15,60), пиропиллитом (до 20,40), каолинитом, дикиитом (до 43,1), корундом (до 10,00), диаспором (до 5,0), магнетитом (до 5,6), пиритом (до 2,7), топазом (до 1,0), ильменитом (до 1,0), рутилом (до 0,8). В зонах разломов появляются сульфидизированные (пирит до 15,0 %) монокварциты с серой (до 4,25 %), прожилки кварц-гематитового, кварц-андалузитового, корунд-андалузитового и натроалунитового составов мощностью до 2 см. Они рассекают кварциты и иногда уходят по трещинам в неизменные вмещающие породы. Кроме того, в зонах разломов на отдельных участках проработка железистыми растворами алунитовых кварцитов настолько интенсивна, что породы превращаются в ноздреватые железняки с натечными агрегатами гипса (до 2,0 %) и ярозита с примесью ангидрита и кизерита (до 2,3 %), с включениями лейкоксена и бирюзы. В краевых частях поля в кварцитах фиксируются наряду с кварцем адуляр, ортоклаз, хлорит и сфен. Основная часть монокварцитов (кварц составляет в среднем 90,15 %) вскрывается эрозией по правому берегу р. Нижняя Мамрата начиная от уреза воды. Располагаются они, по-видимому, непосредственно над гранитоидной интрузией лугагского комплекса, распространяясь, вероятно, по всей его площади и поднимаясь по зонам разломов до дневной поверхности в современном эрозионном срезе.

Средняя мощность зоны монокварцитов примерно 50–60 м, амплитуда колебаний 5–120 м (см. рис. 6). Распределение сульфидов (в основном пирита) в монокварцитах неравномерное. Пирит мелкокристаллический, изредка сопровождается черными землистыми, иногда желтоватыми мелкокристаллическими агрегатами серы и еще реже пропыляется графитом, и тогда порода становится грязно- или черно-серой. Поскольку сульфидизированные монокварциты интереса как алюминиевое сырье не представляют, то они практически и не опробовались. Между тем нельзя исключить перспективность графитизированной и сульфидизированной (содержание сульфидов 6–17 %) зоны (мощность 5–20 м) на золото, платиноиды и, возможно, алмазы. Взято было только несколько штучных проб для изучения петрографии, определения спектрометрии и химического состава. Обращает на себя

внимание высокая концентрация As в метасоматических кварцитах месторождения (в 28,6–44,4 раза выше его кларка в литосфере). Поскольку при изучении вторичных кварцитов Нижнемамратского месторождения в качестве алюминиевого сырья зоны разломов практически не опробовались, то атомно-абсорбционному анализу на золото было подвергнуто две пробы алунитовых руд из т. н. 120 (см. рис. 6). Анализы зафиксировали содержания Au 0,753 и 1,237 г/т. Шлиховое опробование русла реки и склонового глинисто-щебенчатого делювия вокруг месторождения, проведенное геологами-съемщиками, показало присутствие в шлихах знаков золота. Нижнемамратский массив вторичных кварцитов совершенно аналогичен крупному золоторудному месторождению в алунит-андалузитовых кварцитах Тапайджос в Бразилии [19].

Рельеф Нижнемамратского массива кварцитов резко расчлененный с углами уклона до 35° и перепадом высот 140–160 м. Абсолютные отметки предполагаемой подошвы метасоматических кварцитов, вскрытых в долине р. Нижняя Мамрата, 740–760 м, а сохранившейся кровли – 1073 м. Часть месторождения уничтожена эрозией, обусловленной врезанием руч. Кварцитовый, который единую древнюю поверхность с абс. отм. 1500–1600 м разделил на хребты Шандынский и Паркин Белок. Метасоматические кварциты в левобережье руч. Кварцитовый (см. рис. 6) совершенно не изучены. В настоящее время мощность сохранившейся зоны кварцитов в зависимости от рельефа составляет 40–313 м. Суммарные прогнозные ресурсы алунитовых и андалузитовых вторичных кварцитов составляют по категории Р₂ 271 млн т. При содержании в них Au 1 г/т и коэффициенте достоверности 0,2 ресурсы благородного металла по категории Р₃ можно оценить только в алунитовых и андалузитовых рудах в 54,2 т. В целом же по месторождению вторичных кварцитов с учетом монокварцитов и каолинит-серицитовых их типов прогнозные ресурсы по категории Р₃ могут возрасти до 291 т. Верхнемамратский, Кандатский и Левочетский массивы вторичных кварцитов аналогичны Нижнемамратскому. Суммарные ресурсы кварцитов в них составляют около 5 млрд т, а ресурсы золота – более 1000 т. Массивы вторичных кварцитов расположены в зоне влияния строящейся железной дороги Курагино – Кызыл.

В Западной Туве заслуживают внимания как потенциально перспективные на золото массивы диаспор-дикиит-серицитовых вторичных кварцитов г. Сары-Хая (ресурсы кварцитов по категории Р₃ около 80 млн т) и г. Тебек (ресурсы по категории Р₃ около 90 млн т). На последнем массиве, сложенном дикиитовыми кварцитами, проводились поисковые работы на киноварь. Выявлена ассоциация Sb-Hg, в которой не хватает третьего логичного члена этой ассоциации – Au, тем более что вокруг щелочной гранитоидной интрузии, в апикальной части кото-



рой в девоне сформировался массив диксит-серицитовых кварцитов, в шлихах встречается золото.

Аналитика руд золотоносных вторичных кварцитов. В процессе поисков массивов золоторудных метасоматитов, сколько бы ни пытались стандартными аналитическими методами (атомно-абсорбционным и пробирным) определять в них содержания золота, получали 0,3–2,5, в единичных случаях до 5 г/т. Для получения содержания Au ближе к истинному на месторождении Витватерсранд (ЮАР) ежедневно производят 15 тысяч анализов золотых руд, высчитывают среднее содержание Au в руде и умножают на повышающий коэффициент, установленный опытным путем [5]. Так почему же анализы не показывают реальной ситуации?

Во-первых, изучение россыпей Горной Шории и Артемовского района Красноярского края показало, что в россыпях золото крупное, среднее и мелкое. Последнее старателями извлекается не полностью. Во вторичных кварцитах – потенциальных источниках этих россыпей – золото мелкое, тонкое и дисперсное.

Во-вторых, при изучении золотин из россыпей выяснилось, что многие из них несут регенерационную кайму из чистого золота пробностью 1000 ‰, в то время как центральная их часть (затравочная) имеет пробность от 680 до 760 ‰, т. е. золото в россыпях растет. Поэтому в Горной Шории, например, одни и те же россыпи начиная с 1840 и по 1980 гг. перемывались неоднократно и с одинаковым успехом, так что теперь невозможно даже установить место первоначальных русел некоторых рек.

В-третьих, источником золота, обеспечивающего рост золотин в россыпях, могут являться только метастабильные его формы в окружающих коренных золотоносных породах. Физическое разрушение золотоносных пород сопровождается выносом метастабильного золота метеорными водами и осаждением его на мелком и дисперсном золоте, не выбранном из россыпи старателями, как на затравке.

В-четвертых, детальное изучение фазового состава и типоморфизма на макро-, микро- и наноуровнях золота и других благородных металлов в рудах, проведенное МПГ «Холдинг» (Москва), выявило, что при наличии самородного (окристаллизованного) металла доля его метастабильных (ионной, коллоидной) форм в рудоносных породах может быть значительной и даже решающей [9].

В-пятых, метастабильные формы благородных металлов весьма летучи, применяемые стандартные аналитические методы (атомно-абсорбционный, пробирный) определения содержаний металла в руде, связанные с нагреванием пробы, их не улавливают, также частично «выпадает» из определения металл тонкодисперсной и супермикроскопической размерности. Это потребовало разработки новых аналитико-технологических методов их определения. В основу нового решения проблемы легла идея металлизации метастабильных форм благородных металлов, их весового выделения и анализа корольков на энергодисперсном анализаторе. Так, в Туве на Стерликском проявлении рудного золота в сульфидно-кварцевой жиле, где по пробирному анализу в сульфидах двух проб содержание Au составило 5 и 9 г/т, его количество по данным аналитической плавки тех же проб с получением золотого королька увеличилось до 120 и 200 г/т соответственно [3]. В настоящее время разработаны новые аналитические методы определения содержаний металла в рудах (пирощелочной и прямого купелирования), позволяющие определять формы присутствия благородных металлов в руде и их количество.

В-шестых, новые технологии потребовали и новых методов подготовки проб для анализов. Использование для дробления и истирания проб щековых дробилок, шаровых мельниц и конусных истирателей исключается. Для этих целей применяются гидроэлектроизмельчители и дезинтеграторы Л. А. Нехорошева и Ю. Д. Калашникова. Для примера, результаты определения содержаний золота в рудных пробах по новой (пирощелочной) мето-

Содержание различных фаз золота в рудах месторождения Бақырчик [9]

Масса пробы, г	Au, г/т				Доля самородной фазы в общем балансе Au, %
	коллоидное	ионное	самородное	общее	
75	1,13	3,13	2,70	6,96	38,79
126	19,84	2,50	1,85	24,19	7,65
175	29,14	1,91	103,00	143,05	78,83
160	52,25	2,28	7,60	62,13	12,23
136	5,29	10,80	0	16,09	0
110	22,58	2,09	0	24,67	0
135	166,60	13,33	12,20	192,13	5,83
102	19,10	0	0	19,10	0
100	49,40	0	0	49,40	0
100	34,86	2,04	4,10	41,00	10,0
100	121,18	2,40	65,00	188,58	34,47
100	47,39	3,68	17,86	68,93	26,05



дикое с подготовкой на анализ золоторудных проб на гидроэлектроизмельчителях и дезинтеграторах с месторождения Бакырчик (Казахстан) показывают не только концентрацию, но и фазовый состав золота (см. таблицу). Как следует из анализов, для месторождения характерны высокие содержания метастабильных фаз золота, иногда достигающие 100 г/т и более или составляющие довольно высокие концентрации в пробах, где самородного (окристаллизованного) металла нет совсем, а следовательно, пробирный и атомно-абсорбционный анализы ничего не дают. Аналогичные результаты получены при исследовании золоторудных проб месторождений Кумтор (Киргизия) и Амантайтау (Узбекистан). К сожалению, таких технологий пробоподготовки и проведения анализов в Сибири нет.

Выводы

Все месторождения вторичных кварцитов пригодны для отработки открытым способом и в основном без заглупления карьера. Преимущество месторождений золота во вторичных кварцитах перед другими типами золоторудных месторождений в том, что чаще это компактные и крупные объекты. Поскольку все массивы вторичных кварцитов западной части АССО исследовались в основном как потенциальное глиноземное [13] или полиметаллическое сырье, поделочные камни, источники ртути (киноварь), то требуется постановка исследовательских работ по геологическому доизучению массивов вторичных кварцитов на золото и платиноиды. Целенаправленное исследование золотоносности массивов вторичных кварцитов может значительно увеличить ресурсный потенциал золота Сибири. Месторождения в массивах вторичных кварцитов в основном комплексные, позволяющие часто получать наряду с золотом, глиноземные и кварцевые концентраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бортников С. Б., Шипицын Ю. Г.** Перераспределение элементов при формировании золотого оруденения в топазовых кварцитах // Тр. ИНГГ СО АН СССР. – 1990. – № 755. – С. 70–84.
2. **Вторичные кварциты Шандынского хребта Западного Саяна / Г. Н. Черкасов, Е. М. Хмелевская, И. Г. Косухина и др.** // Эпигенетические преобразования пород и руд Сибири. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 103–114.
3. **Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист N-46-XXIX. Объяснительная записка / Н. Н. Херасков, Т. А. Алексеева, Н. Ю. Бардина и др.** – М.: Недра, 1967. – 85 с.
4. **Грицик В. В., Квасница В. М., Бондаренко И. М.** Самородное золото из рудопроявлений Квасово и Береги в Закарпатье // Минералогический журнал. – 2001. – Т. 23, № 2–3. – С. 5–8.
5. **Дю Тойт А.** Геология Южной Африки. – М.: ИЛ, 1957. – 490 с.
6. **Зеленов К. К.** Вулканы как источник рудообразующих компонентов осадочных толщ. – М.: Наука, 1972. – 214 с.
7. **Каназирски М.** Минеральные равновесия в системе $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-SO_3$, моделирующие интенсивную аргиллизацию пород. Фаціальное деление формации вторичных кварцитов // Геохимия, минералогия и петрология. – 1994. – № 29. – С. 73–96.
8. **Кунов А.** Вторичные кварциты северо-восточной части Боровицкого вулканического района. Ст. III. Генезис и практическое значение // Геохимия, минералогия и петрология. – 1994. – № 29. – С. 37–44.
9. **Матвиенко В. Н., Калашников Ю. Д., Нарсеев В. А.** Кластеры – протоформа нахождения драгметаллов в рудах и минерализованных породах // Руды и металлы. – 2004. – № 5. – С. 28–36.
10. **Метасоматиты Гайского Zn-Cu-колчеданного месторождения (Южный Урал, Россия): реставрация первичных условий и истории формирования / А. И. Грабежев, Ф. П. Буслаев, Г. Н. Пшеничный и др.** // Геология рудных месторождений. – 1998. – Т. 40, № 6. – С. 501–513.
11. **Наковник Н. И.** Вторичные кварциты СССР. – М.: Недра, 1988. – 333 с.
12. **Наумова О. А. Алышева Э. И.** Гидротермально измененные породы Озерновского золотосеребряного месторождения Камчатки // Отечественная геология. – 1995. – № 1. – С. 35–44.
13. **Небокситовое алюминиевое сырье Сибири / Г. Н. Черкасов, А. М. Прусевич, А. Н. Сухарина и др.** – М.: Недра, 1988. – 168 с.
14. **Новый тип золоторудной минерализации в Кузнецком Алатау / И. Н. Широких, В. А. Акимцев, В. В. Боровиков и др.** // Российское совещание по экспериментальной минералогии, пос. Черноголовка, Московская обл., 2–4 октября 2001 г.: тез. докл. – Черноголовка: Богородский печатник, 2001. – С. 207.
15. **Семин В. Д., Медведев Г. П., Семина З. Ф.** Перспективные источники алюминиевого сырья в Сибири // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1988. – № 4. – С. 48–54.
16. **Черкасов Г. Н.** Силлиманиты Базыбай-Казырского междуречья Восточного Саяна // Минералообразование в эндогенных процессах. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 81–88.
17. **Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Шевцова И. В.** Кианитовые кварциты на Полярном Урале // Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. – 1998. – № 27. – С. 147–155.
18. **Paleoproterozoic quartz-alunite epithermal goldmineralization from Tapajos (Brazil) / C. D. M. Nunes, C. Juliani R. H. Corrêa-Silva et al.** // The 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6–17, 2000. – Congress Program. Rio de Janeiro: Geol. Surv. Braz. 2000. – P. 2480.
19. **The Breznik epithermal Au occurrence Western Srednogorie – Bulgaria: an “atypical” (?) low-sulphidation hydrothermal system / J. Crammy, I. Mutafchiev,**



I. Velinov et al. // Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century: Proceeding of the joint 6 Biennial SGA-SEG Meeting, Krakow, 26–29 Aug. 2001. – Balkema, 2001. – P. 723–726.

20. The first example of quartz-alunite type epithermal deposit in the continent of China / Zhang Dequan, Li Daxing, Zhao Yiming et al. // J. Soc. Resour. Geol. – 1994. – Vol. 44, No 3. – P. 93–99.

REFERENCES

1. Bortnikov S.B., Shipitsyn Yu.G. [Redistribution of elements during gold mineralization in topaz quartz rocks]. *Trudy INGG SO AN SSS – Proc. of the Institute of Geology and Geophysics SB AS USSR*, 1990, no. 755, pp. 70–84. (In Russ.).

2. Cherkasov G.N., Khmelevskaya E.M., Kosukhina I.G., et al. [Secondary quartz rocks of the Shandynsky ridge in West Sayan]. *Epigeneticheskie preobrazovaniya porod i rud Sibiri* [Epigenetic alterations of rocks and ores of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 103–114. (In Russ.).

3. Kheraskov N.N., Alekseeva T.A., Bardina N.Yu., et al. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. List N-46-XXIX. Ob'yasnitel'naya zapiska* [1:200,000-scale geological map of the USSR. Sheet N-46-XXIX. Explanatory note]. Moscow, Nedra Publ., 1967. 85 p. (In Russ.).

4. Gritsik V.V., Kvasnitsa V.M., Bondarenko I.M. [Native gold in ore manifestations of Kvasovo and Beregi in Transcarpathia]. *Mineral. zh. – Journal of Mineralogy*, 2001, issue 23, no. 2–3, pp. 5–8. (In Russ.).

5. Du Toit, A.L. *Geologiya Yuzhnoy Afriki* [The Geology of South Africa]. Moscow, IL Publ., 1957. 490 p. (In Russ.).

6. Zelenov K.K. *Vulkany kak istochnik rudoobrazuyushchikh komponentov osadochnykh tolshch* [Volcanoes as a source of ore-forming components of sedimentary strata]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 214 p. (In Russ.).

7. Kanazirski M. [Mineral balance in the $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-SO_3$ system causing intensive argillisation of rocks. Facies division of the secondary quartz rocks formation]. *Geokhimiya, mineralogiya i petrologiya. – Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 1994, no. 29, pp. 73–96. (In Russ.).

8. Kunov A. [Secondary quartz rocks of the north-eastern Borovitsky volcanic region. Pt. 3. Genesis and practical appliance]. *Geokhimiya, mineralogiya i petrologiya – Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 1994, no. 29, pp. 37–44. (In Russ.).

9. Matvienko V.N., Kalashnikov Yu.D., Narseev V.A. [Clusters as a protoform of precious metals occurrence in ores and mineralized rocks]. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2004, no. 5, pp. 28–36. (In Russ.).

10. Grabezhev A.I., Buslaev F.P., Pshenichny G.N., et al. [Metasomatites of the Gaiskoye Zn-Cu-pyritic field

(South Urals, Russia): Simulation of initial conditions and evolution]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore Fields*, 1998, issue 40, no. 6, pp. 501–513. (In Russ.).

11. Nakovnik N.I. *Vtorichnye kvartsity SSSR* [Secondary quartz rocks of the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 333 p. (In Russ.).

12. Naumova O.A., Alysheva E.I. [Hydrothermally altered rocks of the gold-silver Ozerovskoe deposit in Kamchatka]. *Otechestvennaya Geologiya – National Geology*, 1995, no. 1, pp. 35–44. (In Russ.).

13. Cherkasov G.N., Prusevich A.M., Sukharina A.N., et al. *Neboksitovoe alyuminievoe syr'e Sibiri* [Non-bauxite aluminum resources of Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 168 p. (In Russ.).

14. Shirokikh I.N., Akimtsev V.A., Borovikov V.V., et al. [A new type of gold-ore mineralization in Kuznetsk Alatau]. *Rossiyskoe soveshchanie po eksperimental'noy mineralogii, p. Chernogolovka, Mosk. Obl. 2-4 oktyabrya 2001 g. Tez. dokl.* [Proc. of the Russian Meeting on Experimental Mineralogy, Chernogolovka, Moscow Region, 2–4 October 2001]. Chernogolovka settlement, Bogorodsky Printer Publ., 2001, p. 207. (In Russ.).

15. Semin V.D., Medvedev G.P., Semina Z.F. [Promising sources of aluminum resources in Siberia]. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya – Bulletin of Universities. Non-Ferrous Metal Industry*, 1988, no. 4, pp. 48–54. (In Russ.).

16. Cherkasov G.N. [Sillimanites of the Bazybay-Kazyr interstream area in East Sayan]. *Mineraloobrazovanie v endogennykh protsessakh* [Mineralisation in endogenous processes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 81–88. (In Russ.).

17. Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Shevtsova I.V. [Kyanitic quartz rocks in the Polar Urals]. *Trudy Instituta geologii Komi nauchnogo tsentra UrO RAN – Proc. of the Komi Institute of Geology of the Research Centre UrO RAS*, 1998, no. 27, pp. 147–155. (In Russ.).

18. Nunes C.D.M., Juliani C., Corrêa-Silva R.H., et al. Paleoproterozoic quartz-alunite epithermal goldmineralization from Tapajos (Brazil). *The 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6–17, 2000. Congress Program*. Rio de Janeiro: Geol. Surv. Braz. 2000, p. 2480.

19. Crammy J., Mutaftchiev I., Velinov I., et al. The Breznik epithermal Au occurrence Western Srednogorie – Bulgaria: an “atypical”(?) low-sulphidation hydrothermal system. *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century: Proceeding of the joint 6 Biennial SGA-SEG Meeting, Krakow, 26–29 Aug. 2001*. Balkema, 2001, pp. 723–726.

20. Zhang Dequan, Li Daxing, Zhao Yiming, et al. The first example of quartz-alunite type epithermal deposit in the continent of China. *J. Soc. Resour. Geol.*, 1994, vol. 44, no 3, pp. 93–99.