

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ И РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Б.А. Дьячков^{1,2}, О.Н. Кузьмина¹, [М.С. Рафаилович³], Т.А. Ойцева¹

1– Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070004,

г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова А.К., 69, Казахстан;

*2– ТОО «Алтайский геолого-экологический институт», 070004, г. Усть-Каменогорск, Либкнехта 21,
Казахстан*

3– ТОО Институт природных ресурсов «ЮГГЕО», 050100, Алматы, Достык, 29, Казахстан

С теоретических позиций мобилизма рассматриваются особенности формирования и размещения золоторудных и редкометалльных месторождений Рудного Алтая, Калбы и Жарма-Саура, связанных с различными геодинамическими обстановками и режимами. В Рудном Алтае подчеркиваются связи золото-медно-полиметаллических месторождений с рифтогенной и островодужными условиями проявления девонского вулканизма. В Калбинском регионе ведущее значение в формировании собственно золоторудных месторождений придается коллизионному геодинамическому режиму (С₁-С₃) и континентальному рифтогенезу для золотоносных кор выветривания в мезозое. Редкометалльная металлогеническая специфика в регионе связывается с постколлизионным геодинамическим режимом активизации пермского гранитоидного магматизма в структурах сиалического профиля. Выполненные геодинамические обстановки рудообразования рекомендуется учитывать в прогнозно-металлогенических работах.

золотое оруденение, редкие металлы, типы месторождений, геодинамические обстановки формирования, Восточный Казахстан

GEODYNAMIC CONDITIONS OF FORMATION OF GOLD AND RARE METAL DEPOSITS EASTERN KAZAKHSTAN

B.A. Dyachkov, O.N. Kuzmina, [M.S. Rafailovich], T.A. Oitseva

The features of formation and distribution of gold and rare metal deposits of Rudny Altai, Qalba and Zharma Saur considers with theoretical positions of mobilism. They associated with different geodynamic conditions and modes. The link between gold-copper-polymetallic deposits with rift and island arc conditions of Devonian volcanism are underlined in Rudny Altai. In Qalba region leading role in formation of gold deposits actually given collisional geodynamic mode (C₁-C₃) and continental rifting for gold weathering crusts in the Mesozoic. The rare metal metallogenic specificity in region connected with postcollisional geodynamic mode of activation of Permian granitoid magmatism in the structures of sialic profile. This geodynamic condition of mineralization is recommended to take into account the expected metallogenic works.

gold mineralization, rare metals, types of deposits, geodynamic conditions of formation, East Kazakhstan

ВВЕДЕНИЕ

Изученная территория Восточного Казахстана охватывает геологические структуры Рудного Алтая, Калба-Нарымской зоны, Западной Калбы и Жарма-Саура, входящие в систему

Центрально-Азиатского подвижного пояса. С теоретических позиций мобилизма рассматриваемые структуры представляют собой чешуи древних палеоконтинентов, которые дрейфовали в Палеоазиатском океане, перемещались с южного в северное полушарие и столкнулись в процессе коллизии Казахстанской и Горноалтайской континентальных окраин (в раннем карбоне и позднее) с образованием единой целостной геологической структуры Большого Алтая (БА). На основании этих палеорекопструкций современная структура БА рассматривается как система ранее разобщенных блоков ЗК или коллаж террейнов, спаянных в процессе герцинской коллизии, разграниченных глубинными разломами и резко различающихся по геодинамическому развитию, геологическому строению и металлогении [2].

Восточный Казахстан – это крупный центр цветной и золотодобывающей промышленности, в котором сосредоточены многие крупные и уникальные месторождения меди, свинца, цинка (Риддер-Сокольное, Малеевское, Орловское и др.), благородных металлов (Бакырчик, Большевик, Суздальское и др.), известны месторождения редких и редкоземельных элементов (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора, Верхнее Эспе и др.), титана (Сатпаевское) и многие другие полезные ископаемые [1, 2, 4]. Геолого-металлогенические исследования последних лет выявили различия глубинного строения, вещественного состава и специфику металлогении рудных поясов: Рудноалтайского медно-полиметаллического, Калба-Нарымского редкометалльного, Западно-Калбинского золоторудного и Жарма-Саурского многометалльного. Особое значение имеет геолого-генетическое моделирование условий формирования золоторудных и редкометалльных месторождений различных геолого-промышленных типов, являющееся основой прогнозно-поисковых работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Золотое оруденение

Золотое оруденение в регионе БА и на его обрамлении имеет сквозное развитие в каледонидах, герцинидах и мезозой-кайнозойских структурах, но главные вспышки концентраций золота зафиксированы на определенных геологических рубежах. В Рудном Алтае выделяется главный для Восточного Казахстана золото-медно-полиметаллический тип, представленный многими крупными промышленными месторождениями меди, свинца и цинка, в котором золото, наряду с серебром, кадмием, платиной, селеном и другими элементами, является сопутствующим компонентом медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений. Месторождения образовались в рифтогенной и островодужной геодинамической обстановках герцинского цикла тектогенеза и генетически связаны с группой базальт-андезит-риолитовых формаций (D_{1-3}), дифференцированных и контрастного ряда. Рудоконтролирующее значение имела система активизированных корово-мантийных глубинных разломов, обусловивших длительность вулканических процессов и рудообразования. Для ряда месторождений устанавливается многостадийность формирования и многоэтажность распределения оруденения на нескольких стратоуровнях с вертикальным размахом руд до 1000–1500 м (Риддер-Сокольное, Тишинское, Малеевское, Орловское, Артемьевское и др.).

Риддер-Сокольное месторождение особо выделяется среди других рудных объектов по большому объему добытых золотосодержащих руд. На этом объекте зональность проявляется в смене медных, медно-цинковых и полиметаллических руд на нижних горизонтах месторождения золото-сульфидно-кварцевыми жилами в его верхах, в которых преобладает самородное золото комковидной формы. В свинцово-цинковых рудах золото характеризуется неравномерным распределением с содержанием от 1 до 50 и более г/т. По общей добычи золота за многие годы Риддер-Сокольное месторождение сопоставляется с крупными мировыми объектами. В целом устанавливается неравномерное распределение золота в рудоносных геохронологических уровнях девонского разреза Рудного Алтая. Наибольшие запасы золота (73,6 %) сосредоточены в первом Змеиногорско-Риддер-Сокольном уровне (D_{1e} - D_{2ef1}), который рассматривается как «уникальный золото-серебро-барит-полиметаллический» [14].

Собственно золоторудные месторождения сформировались в центральной части БА в процессе коллизионного взаимодействия Казахстанского и Горноалтайского микроконтинентов и пространственно размещаются в Зайсанской сутурной зоне, объединяющей в современном виде Западно-Калбинскую и Чарскую металлогенические зоны. По геолого-геофизическим данным эта сутура в глубинном разрезе подчеркивается валообразным поднятием верхней мантии и системой глубинных разломов шатрового типа, по которым происходило поступление мантийного материала и рудоносных флюидопотоков [2]. В Западно-Калбинском поясе известно более 450 золоторудных месторождений и рудопроявлений, сформированных в коллизионной геодинамической обстановке (C_{2-3} - C_3) и размещаются в Мукурском, Бакырчикском, Кулуджунском и Баладжальском рудных районах. Ведущая рудоконтролирующая роль принадлежит системе диагональных глубинных разломов (запад-северо-западного простирания), фиксируемых зонами брекчирования, надвигов, смятия и минерализации, а также цепочками золотоносных малых интрузий и даек плагиогранит-гранодиоритового состава (C_3) (кунушский комплекс и его аналоги).

Рудовмещающими являются вулкано-карбонатно-терригенные и черносланцевые формации повышенной карбонатности и углеродистости, подверженные гидротермально-метасоматическим изменениям в разломах и на контактах гранитоидных интрузий и даек с образованием нескольких геолого-промышленных типов золотого оруденения. В общем плане золоторудные объекты сосредоточены в Восточно-Казахстанском золоторудном поясе, занимающим косо секущую позицию относительно алтайского северо-западного направления, который на юго-восточном фланге проникает в структуры Южного Алтая и далее продолжается в Китае (рис. 1).

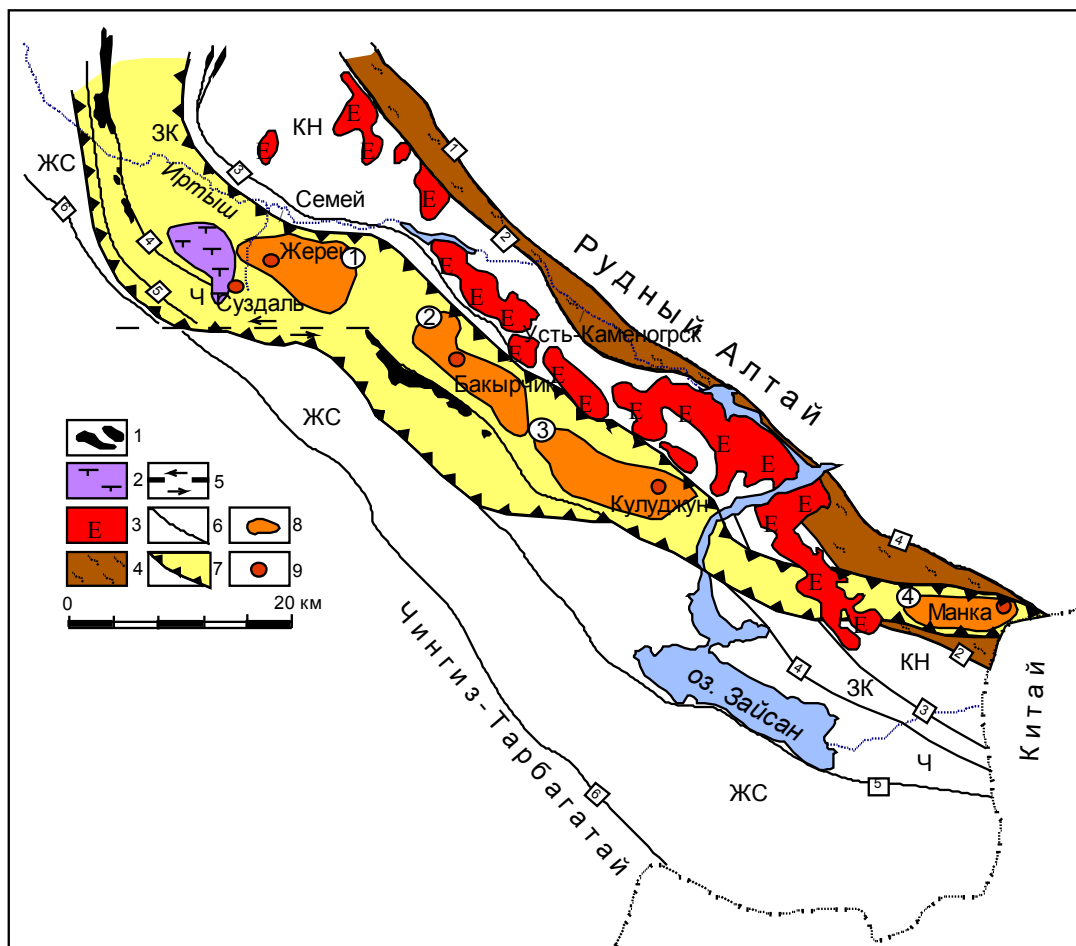


Рис. 1. Геологическая схема размещения Восточно-Казахстанского золоторудного пояса в структурах Большого Алтая.

1 – офиолиты Чарско-Горностаевова пояса; 2 – Семейтауская вулкано-тектоническая постройка мезозойского возраста; 3 – пермские гранитоиды Калба-Карымского плутона; 4 – Иртышская зона смятия; 5 – сбросо-сдвиг; 6 – границы металлогенических зон; 7 – Восточно-Казахстанского золоторудного пояса и 8 – рудных районов; 9 – золоторудные месторождения. Граничные глубинные разломы (цифры в квадратах): 1 – Иртыш-Маркакольский; 2 – Калба-Нарымский; 3 – Теректинский; 4 – Чарско-Зимунайский; 5 – Байгузин-Булакский; 6 – Чингиз-Саурский. Металлогенические зоны (И – Иртышская, КН – Калба-Нарымская, ЗК – Западно-Калбинская, ЖС – Жарма-Саурская). Рудные районы (цифры в кружках): 1 – Мукурский, 2 – Бакырчикский, 3 – Кулуджунский, 4 – Южно-Алтайский).

Золото-сульфидный апокарбонатный тип, пространственно приурочен к раннегерцинскому островодужному (суздальскому) рудоносному уровню ($D_3fm-C_1v_{2-3}$). Это новый для региона нетрадиционный тип золотого оруденения в близкий по ряду признаков к «карлинскому типу» крупнообъемных золоторудных месторождений, известных в США, Канаде, Китае, России, Узбекистане и других странах. В Западной Калбе по нашим представлениям к этому типу относится крупное Суздальское месторождение, представленное первичными золото-сульфидными рудами и золотоносными корами выветривания [9]. К перспективным объектам относятся Жайма, Мираж, Байбура, Бригадное и другие [2, 6, 8]. Геолого-генетическая модель определяется как гидротермально-

метасоматическая, обусловленная формированием минерализованных зон и золотоносных джаспероидов в тектонически нарушенных карбонатно-терригенных породах в результате процессов кремнисто-железистого метасоматоза. При этом «базовой золотоматеринской» является вулканотерригенная формация D_3-C_{1v} [2], а рудогенерирующей – плагиогранит-гранодиоритовая (кунушский комплекс C_3). Руды прожилково-вкрапленные, содержание золота варьирует от 0,1 до нескольких десятков г/т. Золото свободное и тонкодисперсное в сульфидных минералах, по размерам оно мелкое, тонкое и в виде микровключений. Месторождения разрабатываются.

Золото-кварцевый тип оруденения отражает раннегерцинский предколлизийный рудоносный уровень (кулуджунский), широко представленный морскими малоуглеродистыми граувакковыми отложениями междуговых прогибов (аганактинская свита, C_{1s}). В них развиты многочисленные, преимущественно мелкие месторождения и рудопроявления золото-кварцевого и золотосульфидно-кварцевого типов, генетически связанные с гранитоидами кунушского комплекса C_3 (Кулуджун, Сенташ, Джумба, Лайлы и др.). Золоторудные кварцевые жилы и зоны минерализации контролируются разрывными нарушениями и приурочены, обычно, к контактам массивных песчаников и углесто-глинистых алевролитов. Отдельные месторождения сейчас разрабатываются.

Золото-мышьяково-углеродистый тип месторождений (бакырчикский) фиксируется в среднегерцинском коллизийном рудоносном уровне (C_2-C_3), объединяющем молассовые лимнические толщи буконьской свиты (C_{2-3}). В состав уровня входят наземные сероцветные молассы, флювиолимнические и болотные углеродистые черносланцевые литофации, являющиеся благоприятной рудовмещающей средой для концентрации золотого оруденения. Здесь сосредоточены крупные объекты «черносланцевого» типа мирового уровня (Бакырчик и др.) [12]. Главные месторождения (Бакырчик, Большевик, Глубокий Лог и др.) контролируются Кызыловским глубинным разломом широтного простирания, представленного зонами рассланцевания, брекчирования и динамометаморфизма. Геолого-структурная модель месторождений относится к покровно-надвиговой, отражающей развитие надвигов в условиях преобладающего сжатия и гидротермально-метасоматическое преобразование черносланцевых пород в зонах фильтрации и динамометаморфизма. Рудные тела представлены линзовидными и лентовидными залежами гидротермально измененных алевролитов, графитизированных сланцев и песчаников, с богатой вкрапленностью золотосульфидных минералов. Рудные залежи имеют пологое залегание и прослежены по падению на 1000–1500 м. Источники золота смешанные: 1) вмещающие черносланцевые толщи с горизонтами микститов и 2) рудоносные флюиды малых интрузий и даек кушуского комплекса. Золото образует несколько разновидностей, преобладает его тонкодисперсная вкрапленность в арсенопирите и пирите. Руды «упорные», труднообогатимые. По разведанным запасам и прогнозным ресурсам Бакырчик относится к уникальным золоторудным объектам.

Месторождения золотоносных кор выветривания сформировались в киммерийский цикл тектогенеза в обстановке континентального рифтогенеза. Такие месторождения имеют

широкое распространение в Семипалатинском Прииртышье, где они образовались по первичным золотоносным зонам и по форме относятся к трещинно-линейному типу. Мощность коры выветривания изменяется от первых до нескольких десятков метров, иногда достигает 100–200 м. По составу преобладают каолинит-гидрослюдистые коры выветривания, содержание золота в которых изменяется в широких пределах (при бортовом значении 1 г/т). При их изучении используются мало затратные технологии переработки сырья методом кучного выщелачивания (месторождения Жанан, Суздальское, Жерек, Мукур и др.). По запасам это средние и мелкие золоторудные объекты. В целом золотоносные коры выветривания наиболее привлекательны для промышленного освоения вследствие их доступности с поверхности и возможности применения экономичных новейших технологий переработки минерального сырья.

Золотороссыпные месторождения образовались в киммерийский и альпийский циклы тектогенеза в результате процессов континентального рифтогенеза, денудации и пенепленизации. Активные процессы неотектоники создали благоприятные формы рельефа для накопления древних россыпей золота в верхнем меле–палеогене, а позднее в кайнозойе при консолидации геологических структур и формировании разветвленной речной сети в Западной Калбе и на Южном Алтае образовались многочисленные россыпи с гравитационным золотом, представляющие основные объекты для золотодобычи в прошлые годы. В настоящее время важнейшая задача заключается в разработке перспективных направлений на поиски и оценку погребенных россыпей с мелким и тонким золотом в межгорных и предгорных впадинах, приустьевых участках рек, дренирующих коренные золоторудные месторождения. Реализация рекомендаций по оценке и вовлечению в эксплуатацию нетрадиционных типов россыпных месторождений будет способствовать укреплению сырьевой базы для золотодобывающей промышленности региона.

РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

Основные редкометаллоносные структуры Большого Алтая сформировались в позднюю стадию герцинского цикла (P_1-T_1), в процессе постколлизийной внутриплитной тектоно-магматической активизации, сопровождавшейся вертикальными сводово-глыбовыми поднятиями и интенсивным гранитоидным магматизмом. Гранитоидные магмы явились источником редких и редкоземельных металлов (Sn, W, Mo, Be, Ta, Nb, Li, TR и др.), связанных с определенными группами геологических формаций. Неодинаковые геотектонические условия формирования гранитоидных массивов и неравномерное их распределение в геологических структурах БА с различными типами строения ЗК, наряду с другими факторами, предопределили главные закономерности зонального распределения редкометалльных месторождений различных порядков. Важное значение придается установлению генетической связи редких металлов с определенными магматическими комплексами и конкретными интрузивными фазами [7].

Гранитовая формация P_1 (калбинский, белоубинский, жарминский, горноалтайский комплексы) характерны для Калба-Нарымской, Белоубинско-Сарымсактинской, Сиректас-Сарсазанской тектонических зон, образованных на каледонском и фрагментарном

протерозойском основании повышенной сиаличности. Типичны многофазные гранитные интрузии сложной морфологии. Граниты относятся к плюмазитовой серии K-Na и Na-K типов, обогащены минерализаторами (F, B, Li, H₂O и др.), геохимически специализированы на Sn, Li, Rb, Cs, Mo (1,5–4 кларка) и являются потенциально рудоносными на редкие элементы. В Калба-Нарымской зоне эта формация сопровождается промышленными редкометалльными месторождениями. В Горном Алтае, Чингиз-Тарбагатае и Жарма-Сауре гранитная формация имеет преимущественно W-Mo специализацию, а в Рудноалтайской зоне с гранитами «калбинского типа» связано бедное редкометалльно-полиметаллическое оруденение.

Лейкогранитовая формация (P₂) объединяет крупнозернистые лейкократовые граниты монастырского комплекса Калба-Нарымской зоны и кандыгатайского Сиректас-Сарсазанской зоны Жарма-Саурского пояса. Представлена многофазными гранитными массивами зонального строения, мезоабиссальной фации глубинности – 2,5–4 км (массивы Дубыгалы, Сибинский, Монастыри, Кандыгатай и др.). Эти граниты часто содержат пегматоидные и миароловые гнезда (с горным хрусталем, топазом, бериллом). Характеризуются флюорит-редкоземельной аксессуарной специализацией и геохимически обогащены Ta, Li, W, Sn, Mo, TR. Но вследствие длительной дифференциации магматических расплавов в относительно спокойных тектонических условиях и площадного кристаллохимического рассеяния редких элементов и редких земель лейкократовая формация оказалась слаборудоносной. С ней связаны проявления камерных хрусталеносных пегматитов (Акжайляу, Дубыгалы), вольфрамоносных гидротермалитов (Миролюбовская группа, Кандыгатай) и россыпи монацита (Канайская, Каиндинская и др.).

Формация *граносиенит-щелочногранитовая* (P₂-T₁) объединяет граносиениты, нефелиновые сиениты, монцониты и щелочные граниты (гастингситовые, рибекитовые и др.) керегетас-эспинского комплекса в Жарма-Саурской зоне, лениногорского и голушинского в Рудном Алтае и Горном Алтае, тлеумбетского в Чингиз-Тарбагатае и кызылкайнарского в Северном Прибалхашье. Сиениты и монцониты Преображенского и Буранского массивов Жарма-Саурской зоны выделяются Ti-Nb-Zr геохимической специализацией. Щелочные граниты обычно имеют небольшие размеры (2–25 км²) и сопровождаются редкометалльно-редкоземельным оруденением (месторождение Верхнее Эспе, другие проявления).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя рудоносность геологических формаций с учетом их геохимической специализации на рудогенные элементы можно сделать вывод, что пока не установлено строгого соответствия между потенциальной их рудоносностью и количеством извлеченного в руды рудного вещества. Главной причиной несоответствия между геохимической и металлогенической специализацией геологических формаций являются различные условия их формирования, при которых, в одних случаях рудные элементы рассеивались в горных породах и минералах, а в других – отделялись и концентрировались в рудных месторождениях. При поисках рудных объектов необходимо также учитывать разработанные критерии различия рудоносных гранитоидов от слаборудоносных или безрудных

(геотектонические, петрохимические и минералого-геохимические), рассмотренные в специальной работе [4].

Таким образом, в научном плане развивается идея о поясовом размещении месторождений в рудных поясах Большого Алтая, сформированных в различных геодинамических обстановках и геологических условиях, отличающихся по вещественному составу и масштабности оруденения [5]. Проявление магматизма по стадиям развития тектонических циклов в определенных геодинамических режимах (океанического рифтогенеза, рифтогенно-островодужном, коллизионном, постколлизионном и др.) обусловлено последовательной миграцией глубинных очаговых зон из верхней мантии через глубинные слои ЗК до локализации дифференциатов в верхней части колонны преобразования.

В герцинском цикле в рифтогенно-островодужной геодинамической обстановке девонского времени сформировались главные золото-колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая вулканогенного генезиса (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Pt и др.). Позднее в процессе коллизионного сжатия и растяжения (C₁–C₃) в Рудном Алтае, Западной Калбе и Жарма-Сауре образовались собственно золоторудные объекты разных генетических типов, связанных преимущественно с гранитоидами повышенной основности (Au, Ag, Sb). Позднегерцинская эпоха постколлизионной внутриплитной активизации ознаменовалась интенсивным развитием пермского гранитоидного магматизма, потенциально рудоносного на редкометалльно-редкоземельное оруденение (Ta, Nb, Be, Li, Sn, W, Mo, TR) Интенсивная вспышка пермского гранитоидного магматизма и усиление редкометалльной металлогенической активности – это уникальные события в геологической истории Центральной Азии, отмеченные в работах Н.Л. Добрецова, В.И. Коваленко, В.В. Ярмолюка, А.Г. Владимирова, А.В. Ткачева и многих других исследователей [3, 10, 11, 13].

Киммерийский и альпийский циклы континентального рифтогенеза и неотектоники продуктивны на оруденение в корах выветривания и россыпях (Au, Ni–Co, Zr–Ti, Ta, Sn, W и др.). Выполненные геодинамические реконструкции являются основой для прогнозно-поисковых работ в регионе.

Статья подготовлена при финансовой поддержке АО «Национальное агентство по технологическому развитию» МОН РК, грант № 403 от 23.12.2011 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакырчик (геология, геохимия, оруденение) / Отв. Ред. Нарсеев В. А. М.: ЦНИГР, 2001. 174 с.
2. Большой Алтай (геология и минералогия). Кн. 1-2. Алматы: Гылым, 1998. 304 с; РИО ВАК РК, 2000. 400 с.
3. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Хромых С.В. и др. Пермский магматизм и деформации литосферы Алтая как следствие термических процессов в коре и мантии // Геология и геофизика, 2008. Т. 49, № 7. С. 621–636.

4. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Щерба Г.Н., Абдрахманов К.А. Гранитоидные и рудные формации Калба-Нарымского пояса: (Рудный Алтай). Алматы, 1994. 208 с.
5. Дьячков Б.А., Титов Д.В., Сапаргалиев Е. М. Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив // Геология рудных месторождений, 2009. Т. 51. № 3. С. 222–238.
6. Дьячков Б.А., Черненко З.И., Майорова Н.П. и др. Геологические условия формирования и размещения золоторудных месторождений апокарбонатного типа Восточного Казахстана. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2011. 136 с
7. Дьячков Б.А. Генетические типы редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. 130 с.
8. Кузьмина О.Н., Дьячков Б.А., Владимиров А.Г. и др. Геология и минералогия золотоносных джаспероидов Восточного Казахстана (на примере рудного поля Байбура) // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 12. С. 1889–1904.
9. Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Полюнов В.И. и др. Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах Восточного Казахстана // Геология рудных месторождений, 2012. Т. 54. № 4. С. 305–328.
10. Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Андреева И.А. и др. Типы магм и их источники в истории Земли. Часть 2. Редкометалльный магматизм: ассоциации пород, состав и источники магм, геодинамические обстановки формирования. М.: ИГЕМ РАН, 2006. 280 с.
11. Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование: Материалы Второго Российско-Казахстанского междун. научн. совещ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 195 с.
12. Рафаилович М.С., Мизерная М.А., Дьячков Б.А. Крупные месторождения золота в черносланцевых толщах: условия формирования, признаки сходства. Алматы, 2011. 272 с.
13. Ткачев А.В. Глобальные металлогенические циклы в истории Земли: Автореф. докт. диссертации. М., 2012. 45 с.
14. Чекалин В.М., Дьячков Б.А. Рудноалтайский полиметаллический пояс: закономерности распределения колчеданного оруденения // Геология рудных месторождений, 2013. Т. 55. № 6. С. 513–532.