



Рис. 5. Геохимическая основа прогнозной карты масштаба 1:10 000. Проектная схема заверочных работ, участок Хохюртовский

Целью геохимических поисков является сокращение площади поисковых работ, обоснование выделения и локализация участков для проведения заверочных работ, включающих проходку поверхностных горных выработок, их опробование для последующей оценки прогнозных ресурсов.

Базовые поисковые принципы выборочной детализации и последовательного приближения позволили существенно локализовать перспективные площади (таблица).

Следует отметить, что золото Джидинского рудного района генетически связано с разнообразными по составу и возрасту (от раннего палеозоя до ранней юры включительно) интрузиями. Представление о том, что золотое оруденение однозначно связано с гипербазитами цакирского комплекса (Є<sub>1</sub>), далеко не однозначно. По всей видимости они (гипербазиты и орудене-

Работы масштаба	Исходная площадь, км <sup>2</sup>	Суммарная площадь перспективных участков, км <sup>2</sup>	Доля участков от исходной площади, %
1 : 200 000	17 200	2 500	15
1 : 50 000	590	27	5
1 : 10 000	27	2,2	9

ние) приурочены к единой проницаемой зоне глубинного разлома.

«Эндогенные месторождения золота представлены преимущественно постмагматическими гидротермальными образованиями, как правило, не обнаруживают прямой генетической связи с конкретными магматическими телами» (В.И. Смирнов, 1974). Процесс формирования гидротермальной золотоносной минерализации далеко не всегда наследует конфигурацию вмещающих структурно-формационных комплексов. В связи с этим роль методов, основанных на выявлении продуктов разрушения рудных объектов, с древнейших времен и поныне является определяющей для поисков золота. Ранее это были шлиховые съемки с визуальной минералогической диагностикой. В настоящее время высокотехнологические лабораторно-аналитические исследования и накопившийся опыт интерпретации комплексных аномалий, полу-

лученных при геохимических поисках по методу литохимические потоки рассеяния и вторичные ореолы рассеяния, позволяют не только выявить золотые аномалии, но разбраковать и оценить степени их перспективности.

© Галиук С.В., Спиридонов И.Г., 2017

Галиук Сергей Владимирович//galiouk@imgre.ru  
Спиридонов Игорь Геннадьевич//imgre@imgre.ru

УДК 551.2+553.04 (571.54)

Гордиенко И.В., Цыганков А.А. (ГИН СО РАН)

### МАГМАТИЗМ И РУДООБРАЗОВАНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

На основе обобщения геологических, петролого-геохимических и изотопно-геохронологических данных по Саяно-Байкальской складчатой области и сопредельным территориям разработана модель геодинамической эволюции неопротерозойских и венд-палеозойских тектонических

*структур (террейнов) различного типа в зоне взаимодействия Сибирского континента и Палеоазиатского океана. Это, прежде всего, зоны субдукции и связанные с ними энсиматические и энсиалические островные вулканические дуги, а также области континентального внутриплитного (плюмового) магматизма. В работе приводятся новые данные о разнообразном магматизме и рудообразовании исследованного региона. **Ключевые слова:** палеогеодинамические реконструкции, террейны, тектонические обстановки, островодужный и внутриплитный магматизм, рудообразование.*

Gordienko I.V., Tsygankov A.A. (Geological Institute SB RAS)  
**MAGMATISM AND ORE FORMATION IN VARIOUS GEODYNAMIC SITUATIONS OF SAYANO-BAYKALSKOY OF FOLDED AREA AND NEAR TERRITORIES**

*A model of the geodynamic evolution of various types of the Neoproterozoic and Vendian–Paleozoic tectonic structures (terranes) in the interaction zone between the Siberian continent and Paleoasian Ocean has been developed on compilation of the geological, petrological-geochemical and isotope-geochronological data on the Sayan–Baikal fold area and adjacent territories. These tectonic structures primarily include the subduction zones and related ensimatic and ensialic volcanic island arcs as well as the areas of the continental intraplate (plume) magmatism. New data on multiple magmatism and ore formation in the studied region are presented. **Keywords:** paleogeodynamic reconstructions, terranes, tectonic settings, island arc magmatism, intraplate magmatism, ore formation.*

Саяно-Байкальская складчатая область совместно с территорией Забайкалья занимает значительную часть Центрально-Азиатского и Монголо-Охотского складчатых поясов. Данная территория всегда привлекала внимание исследователей, во-первых, как крупнейшая рудная провинция и, во-вторых, как интересный в геологическом отношении регион, на примере которого развивались тектонические концепции, имеющие большое значение для науки («древнее темя Азии», «байкалиды», «зabayкальские каледониды», «аркогенез», «тектономагматическая активизация» и др.). Эти концепции разрабатывались преимущественно на геологических материалах юга Восточной Сибири и в основном на фиксистой основе. Первые обобщающие работы по региону с использованием новой глобальной концепции — тектоники литосферных плит, появились лишь в 1970–1980-е годы. Благодаря этим достижениям, был разработан метод палеогеодинамического анализа складчатых областей с использованием моделей геодинамических обстановок на границах и внутри литосферных плит с учетом глубинной геодинамики. Большую роль в этих исследованиях сыграли пионерные работы Л.П. Зоненшайна, В.Е. Хаина, Н.Л. Добрецова, М.И. Кузьмина, О.А. Богатикова, В.И. Коваленко, В.В. Ярмолюка и других ученых.

В последние 15–20 лет при палеогеодинамических реконструкциях стал широко использоваться террей-

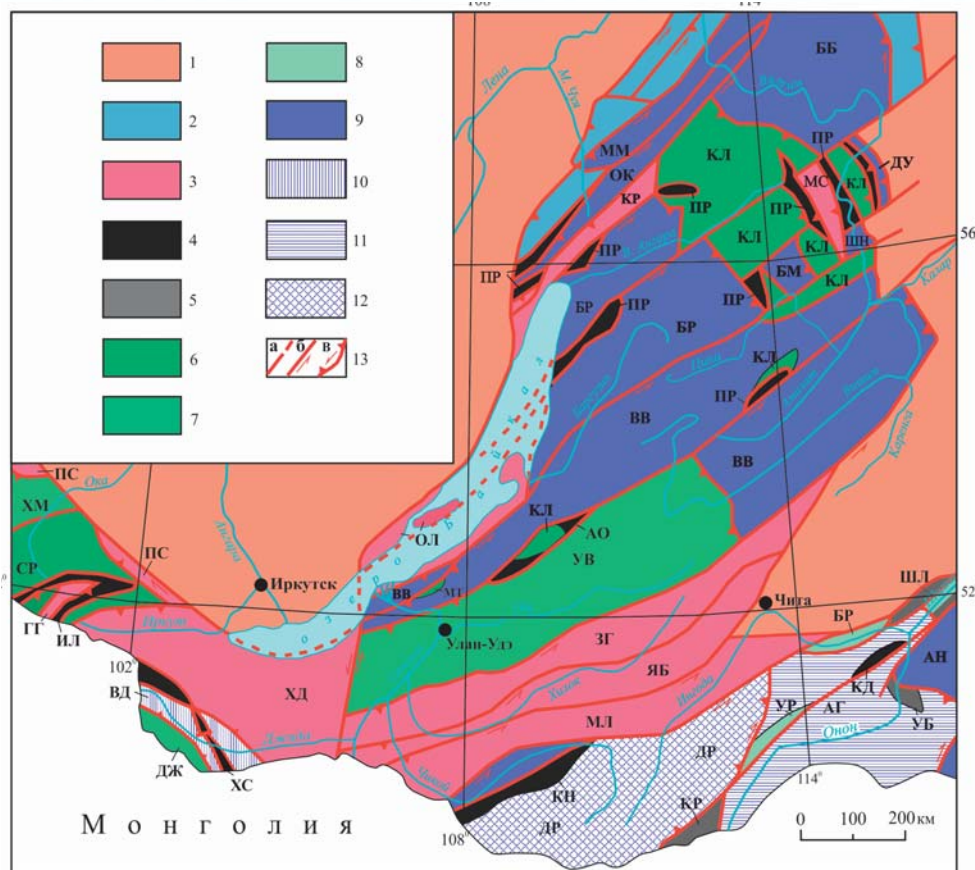
новый анализ, зародившийся в результате детальных геологических исследований северо-западного обрамления Тихого океана. В результате этих работ было установлено, что складчатые пояса разного возраста представляют собой коллаж террейнов различной геодинамической природы (островных дуг, симаунтов, активных и пассивных континентальных окраин, микроконтинентов и др.). Заложение складчатых поясов происходило на месте океанических бассейнов или их активных окраин. Было доказано, что складчатые пояса являются продуктом преобразования океанической коры в континентальную. На основе террейнового анализа в рамках международных и других проектов были выполнены крупные обобщения по тектонике и геодинамике Центральной и Северо-Восточной Азии, в том числе по всему складчатому обрамлению юга Сибирской платформы. Было установлено, что главные тектонические структуры складчатого обрамления юга Сибирской платформы, относящиеся к Центрально-Азиатскому складчатому поясу, были созданы в основном в докембрии и палеозое. На исследованной территории отчетливо выделяются неопротерозойские или байкальские, венд-раннепалеозойские или каледонские, средне — верхнепалеозойские или герцинские, а также мезозойские или киммерийские этапы формирования тектонических структур, магматических и рудоносных комплексов [1, 2].

На составленной нами Карте террейнов выделены разнообразные геодинамические обстановки формирования тектонических структур (террейнов) региона в течение неопротерозоя и палеозоя, которые характеризуют возрастные геодинамические этапы и связанное с ними эндогенное оруденение (рис.1).

В результате обобщения геологических, петролого-геохимических и изотопно-геохронологических данных по Саяно-Байкальской складчатой области и сопредельных территорий разработана модель геодинамической эволюции неопротерозойских и венд-палеозойских тектонических обстановок различного типа в зоне взаимодействия Сибирского континента и Палеоазиатского океана (ПАО). За время существования ПАО в его пределах формировались и исчезали тектонические структуры различной геодинамической природы: зоны субдукции и связанные с ними энсиматические и энсиалические островные дуги, внутриокеанические вулканические острова (гайоты) и рифтовые долины с различной скоростью спрединга океанической коры, окраинные и внутренние моря, пассивные и активные континентальные окраины западно-тихоокеанского, калифорнийского и андийского типов.

#### **Субдукционный магматизм и связанные с ним рудные месторождения**

Процессы субдукции и связанный с ними островодужный магматизм на неопротерозойских и раннепалеозойской активных окраинах Сибирского палеоконтинента связан, прежде всего, с эволюцией Палеоазиатского океана [4, 9], который образовался при распаде Родинии между 1050–750 млн лет назад.



**Рис. 1. Карта террейнов Саяно-Байкальской складчатой области и сопредельных территорий по [2] с новыми дополнениями и изменениями:** 1 — Сибирский кратон; 2 — террейны Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса (пассивная континентальная окраина кратона). Другие террейны юго-восточного складчатого обрамления Сибирского кратона: 3 — неопротерозой-палеозойские кратонные и метаморфические: (ГГ — Гарганский, ХД — Хамардабанский, КР — Кичерский, МЛ — Малханский, МС — Муйский, ОЛ — Ольхонский, ПС — Протеросаянский, ЯБ — Яблоновый, ЗГ — Заганский); океанические: 4 — неопротерозойские (ИЛ — Ильчирский, ПР — Парамский, АО — Абага-Оланский), 5 — венд-раннепалеозойские (ХС — Хасуртинский, КН — Куналейский, КД — Кулиндинский), силуро-девонские (КР — Кыранский, УБ — Усть-Борзинский, ШЛ — Пришилкинский); островодужные: 6 — неопротерозойские (КЛ — Келянский, СР — Сархойский), 7 — венд-раннепалеозойские (УВ — Удино-Витимский, ДЖ — Джидинский, ХМ — Хамсаринский), 8 — девон-раннекарбоновые (БР — Береинский, УР — Уртуйский); турбидитовых бассейнов: 9 — средне- и неопротерозойские (АН — Аргунский, ББ — Бодайбинский, БМ — Бамбуйский, БР — Баргузинский, ДУ — Делюнуранский, ММ — Мамаканский, ОК — Олоkitский, ШН — Шаманский, ВВ — Верхневитимский), 10 — нижнепалеозойский (ВД — Верхнеджидинский), 11 — девон-раннекарбоновый (АГ — Агинский), 12 — девон-среднекарбоновый (ДР — Даурский); 13 — разломы: а — условные, б — сдвиги, в — вбросо-сдвиги и надвиги. Перекрывающие мезо-кайнозойские структурно-вещественные комплексы не показаны

терозойские (АН — Аргунский, ББ — Бодайбинский, БМ — Бамбуйский, БР — Баргузинский, ДУ — Делюнуранский, ММ — Мамаканский, ОК — Олоkitский, ШН — Шаманский, ВВ — Верхневитимский), 10 — нижнепалеозойский (ВД — Верхнеджидинский), 11 — девон-раннекарбоновый (АГ — Агинский), 12 — девон-среднекарбоновый (ДР — Даурский); 13 — разломы: а — условные, б — сдвиги, в — вбросо-сдвиги и надвиги. Перекрывающие мезо-кайнозойские структурно-вещественные комплексы не показаны

Это событие фиксируется офиолитами и магматическими комплексами надсубдукционного генезиса, включенными в состав аккреционно-коллизонных структур Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Считается, что распад Родинии и раскрытие ПАО в неопротерозое — раннем палеозое контролировалось крупными плюмами [7]. Далее мы подробнее остановимся только на некоторых неопротерозойских и венд-раннепалеозойских островодужных системах Восточного Саяна и Забайкалья, которые имеют принципиально важное значение для восстановления эволюции сибирской активной окраины ПАО.

Среди байкальских (неопротерозойских) островодужных систем ПАО на территории Саяно-Байкальской области в разной степени изученными являются Дунжугурская (1020–820 млн лет), Шишхидгольская (820–775 млн лет), Сархойская (805–770 млн лет) в Восточном Саяне и Нюрюндюканская (1050–1035 млн лет), Келянская (950–790 млн лет), Катаевская (890–830 млн лет) в Забайкалье [4]. Палеомагнитные данные по ним в основном отсутствуют. Тем не менее, близость петролого-геохимических характеристик и возраста надсубдукционного магматизма является важной предпосылкой для реконструкции названных дуг в составе единой неопротерозойской активной

окраины ПАО, которая в ходе длительной эволюции могла претерпеть многократную структурную перестройку. На современных палеотектонических схемах ПАО представляется в виде узкого бассейна между юго-западной (в современных координатах) окраиной Сибири и северной (в современных координатах) окраиной Лаврентии [9], где в значительной степени условно мы располагаем перечисленные островные дуги и связанные с ними бассейны (рис. 2).

Одной из наиболее примечательных является *Дунжугурская островная дуга*, магматические ассоциации которой обнаружены на юго-востоке Восточного Саяна в верховьях р. Ока. Геохимические характеристики дунжугурских надсубдукционных комплексов отвечают энсиматическому типу дуг. Характерен толеитовый и известково-щелочной островодужный тренд дифференциации. Вулканогенный комплекс представлен крайне низкотитанистыми и низкожелезистыми андезитами и андезибазальтами с повышенным содержанием MgO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Среди них выделяются типичные бониниты и марианиты. В распределении РЗЭ отмечается характерная отрицательная аномалия по Ta, Nb и Ti. Во фронтальной части дуги формировались кислые вулканокластические породы. Детритовые цирконы в них имеют возраст от 1048 ± 12 млн лет до 844 ± 8

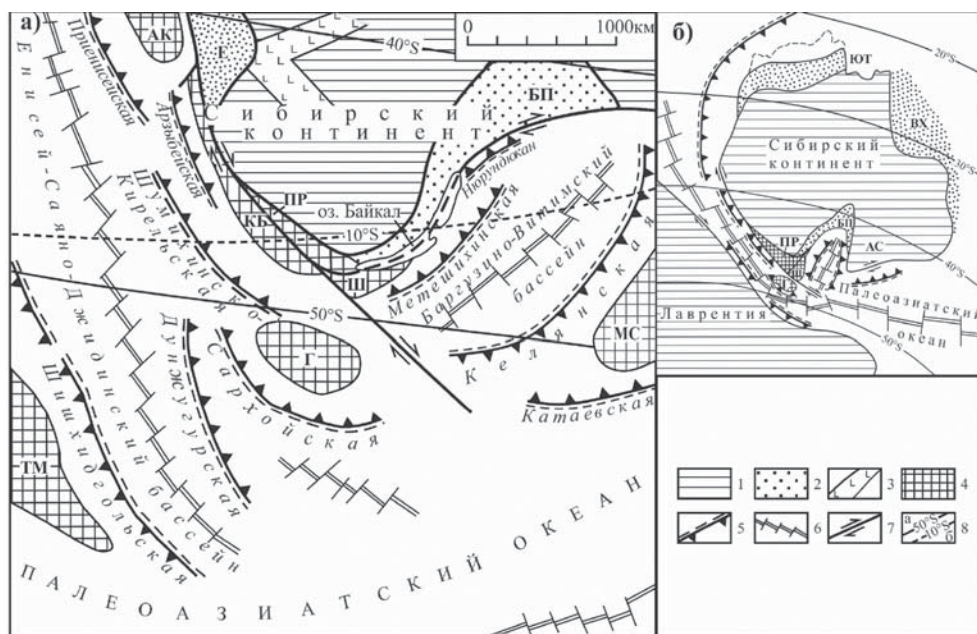
млн лет [9]. Эта оценка указывает на возможно более древний, чем предполагалось ранее (U-Pb — 1010 ± 10 млн лет, Pb-Pb — 1020 ± 0,7 млн лет) возраст магматизма. Дунжугурская дуга может рассматриваться как одна из наиболее древних в неопротерозойской активной окраине. Возможно, она функционировала еще до распада Родинии, что, в определенной степени, сближает ее с древнейшими дугами Таймыра [4].

Весьма примечательной является *Шишихидгольская энсиматическая островная дуга*, фрагменты которой распространены на территории Монголии и юго-восточной части Восточного Саяна. Эволюция дуги в рамках модели связывается с Тувино-Монгольским микроконтинентом, расположенным вдали от Сибирской окраины (рис. 3). В Западном Прихубсугулье выявлен практически полный офиолитовый разрез и характерный вулканический комплекс этой дуги. В целом для них характерен толеитовый и известково-щелочной тренд дифференциации, отрицательная аномалия по Nb, Ta, Ti и обогащение Ba, Sr, Pb, иногда K<sub>2</sub>O. Активная стадия магматизма оценивается на основании возраста детритовых цирконов в породах Окинской аккреционной призмы, территориально и генетически связанной с Шишихидгольской дугой. По имеющимся данным он варьирует от 819 ± 17 млн лет до 775 ± 8 млн лет назад [8].

Ярким представителем энсиматических дуг на неопротерозойской активной окраине ПАО может быть *Сархойская дуга*. Ее тектонитип находится в юго-восточной части Восточного Саяна, в бассейне р. Сархой. Надсубдукционный вулканический комплекс этой дуги отличается известково-щелочной спецификой магматизма. Сархойские вулканы образуют непрерывный ряд от базальтов, андезитов до дацитов и риолитов с большим объемом игнимбритов и кислых кластолов. Коммагматичный интрузивный магматизм представлен сумсунурским гранодиорит-тоналит-трондьемитовым комплексом. В целом это умеренно- и низкокальцевые породы с типичным распределением РЗЭ, в том числе с отчетливой отрицательной аномалией по Ta, Nb, Ti. Особенностью этих пород является нехарактерный для островодужного магматизма минимум по Sr. По результатам U-Pb дати-

рования возраст островодужной серии составляет 782 ± 7 млн лет [8].

По результатам исследования океанических и островодужных комплексов юго-восточной части Восточного Саяна выполнены палеогеодинамические реконструкции, согласно которым в Окинском рудном районе выделено четыре этапа формирования покровно-складчатой структуры, магматизма и рудообразования в неопротерозое и палеозое общей продолжительностью более 500 млн лет (от 1020 до 460 млн лет). На раннем этапе (1020–820 млн лет) развития произошло заложение крупного океанического бассейна и Дунжугурской энсиматической островной дуги. На втором этапе (830–800 млн лет) в результате дальнейшего распада Родинии и деятельности мантийных плюмов произошла перестройка активной континентальной окраины Сибирского континента и возникшего Палеоазиатского океана. На третьем этапе (805–770 млн лет) в результате продолжающихся перестроек закрываются краевые спрединговые бассейны и происходит заложение новых зон субдукции, пологопадающих под Гарганский микроконтинент. На четвертом этапе (640–460 млн лет) произошла дальнейшая перестройка активной окраины ПАО, в том числе в результате деятельности мантийных плюмов и аккреционных событий. Показано, что именно субдукция и трансформация слэбов в пределах реконструированных актив-



**Рис. 2. Палеогеодинамическая реконструкция неопротерозойской активной окраины Сибирского континента (850–750 млн лет) по [4] с дополнениями: а — региональная, б — глобальная реконструкция: 1 — Сибирский континент; 2 — пассивные окраины континента (БП — Байкало-Патомская, Е — Енисейская, ЮТ — Южно-Таймырская, ВХ — Верхоянская); 3 — неопротерозойские авлакогены (рифты) на Сибирской платформе; 4 — кратонные блоки (АС — Алдано-Становой, АК — Ангаро-Канский, КБ — Канско-Бирюсинский, ПР — Протеросаянский, Ш — Шарыжалгайский) и микроконтиненты (ТМ — Тувино-Монгольский, Г — Гарганский, МС — Муйский,); 5 — островные дуги с указанием ориентировки зон субдукции (черные треугольники), положения аккреционного клина (штриховая линия) и окраинных бассейнов; 6 — предполагаемые зоны спрединга в окраинных бассейнах и Палеоазиатском океане; 7 — крупные сдвиги; 8 — палеошироты для рубежа 850 млн лет назад (а) и 750 млн лет назад (б) по палеомагнитным данным. Масштаб дан для Сибирского кратона. Островные дуги, спрединговые зоны и микроконтиненты показаны вне масштаба**

ных окраин стали причиной вспышки плюмового магматизма и золотого оруденения на рубежах 830–800, 805–770 и 640–460 млн лет [5].

В Северном Прибайкалье к числу наиболее древних вулканических дуг неопротерозойской активной окраины может быть отнесена *Нюрндюканская дуга*. Магматические породы предположительно островодужного происхождения в бассейне р. Нюрндюкан представлены гранулитами, амфиболитами, ортосланцами и метагаббро с U-Pb и Sm-Nd возрастом  $1050 \pm 160$  млн лет и  $1035 \pm 92$  млн лет соответственно. Мы предполагаем, что названная дуга могла быть связана с Баргузино-Витимским спрединговым бассейном, реконструируемым на основе находок офиолитов ранне-неопротерозойского возраста [10].

Среди относительно более молодых энсиматических дуг неопротерозойской активной окраины ПАО наиболее крупной и хорошо изученной является *Келянская островная дуга*. Ее фрагменты в виде тектонических линз прослеживаются из Восточного Прибайкалья через Витимское плоскогорье в бассейн р. Муя. На реконструкции дуга занимает юго-восточный борт Баргузино-Витимского спредингового бассейна и обрамляет Муйский кратонный терреин (рис. 2). Состав островодужного комплекса изменчивый. На западе в районе р. Турка распространены риолиты и их туфы с возрастом цирконов  $820 \pm 7$  млн лет (неопубликованные данные). Восточнее обнаружены послонные тела метабазальтов и метагаббро, метаморфизованных до амфиболитов, высокомагнезиальные ( $MgO = 9,74–18,57$ ) метабазальты и метаандезибазальты, часто превращенные в ортосланцы, линзообразные тела и пластины серпентинитов. По соотношению  $(FeO+TiO_2)-(Al_2O_3+MgO)$  высокомагнезиальные метабазальты соответствуют коматиит-толеитовой ассоциации, а по соотношению  $TiO_2-K_2O$  — базальтам островных дуг. В то же время по содержанию LREE данные породы полностью аналогичны бонинитам дуги Тонга. Абсолютный U-Pb изотопный возраст цирконов из метаандезибазальтов —  $953 \pm 21$  млн лет. В северной части Витимского плоскогорья в бассейне р. Усой в состав островодужного комплекса наряду с андезибазальтами вновь включены риолиты, цирконы которых формировались  $837 \pm 11$  и  $789 \pm 8$  млн лет назад. Наиболее полный разрез келянского островодужного комплекса известен в бассейне р. Муя. В основании находятся крупные тектонические пластины и клинья надсубдукционных офиолитов. По сейсмологическим данным предполагается общий наклон древней сейсмофокальной зоны под Муйско-Становой кратонный терреин. Собственно островодужный комплекс включает туфы и лавы риолитов, плагиориолитов, андезибазальтов и базальтов известково-щелочной серии с возрастом 830–740 млн лет, которые перекрывают бонинитовую ассоциацию, образовавшуюся не древнее ~ 920 млн лет назад. Аккреционную стадию маркируют гранитоиды муйского комплекса, сформированные в интервале 786–735 млн лет назад и эцлогиты с возрастом  $653 \pm 21$  млн лет [1, 10].

К числу энсиматических дуг неопротерозоя относится *Катаевская дуга* [1]. До недавнего времени возраст магматизма, связанного с этой дугой, предполагался вендско-кембрийским. В результате U-Pb исследований цирконов (SHRIMP-II по 8 точкам) из андезибазальтов стратотипического разреза катаевской свиты по р. Унго в Центральном Забайкалье получены возраста от  $832 \pm 12$  млн лет до  $893 \pm 13$  млн лет (неопубликованные данные). В целом катаевская ассоциация представлена метабазальтами и метаандезибазальтами с небольшими прослоями хлорит-эпидот-серицитовых сланцев, прорванных дайками и небольшими телами габбро, габбро-долеритов и гранитов. По геохимическому составу базальты и андезибазальты относятся к калинатовой высокоглиноземистой серии. Содержание наименее подвижных высокозарядных и редкоземельных элементов стабильное (в г/т): Zr (170–240); Nb (8–12); La (25–41); Ce (50–79); Yb (2,1–2,8); Y (21–25). По этим параметрам катаевские вулканы соответствуют современному магматизму энсиматических островных дуг [4].

В настоящее время установлено, что саянская и байкальская ветви Саяно-Байкальского складчатого пояса развивались практически синхронно. К концу позднерифейского этапа (630–610 млн лет) завершилось формирование островных дуг, преддуговых, междуговых и задуговых бассейнов, микроконтинентов и приращения их к окраине Сибирского кратона. Вследствие этих процессов вблизи границ Сибирской платформы сформировался коллаж неопротерозойских терреинов различной геодинамической природы, которые в начале венда образовали Енисей-Саяно-Байкальский складчатый пояс байкалид.

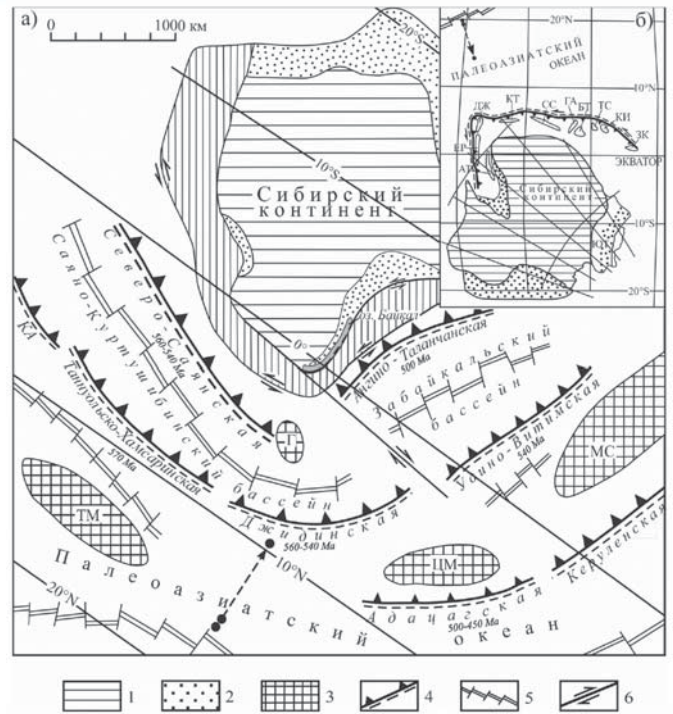
*Металлогения* различных геодинамических обстановок *байкальского этапа* связана с формированием неопротерозойских спрединговых (офиолитовых) рифтогенных зон и сопряженных с ними островодужных систем Саяно-Байкало-Муйского пояса. С данным этапом связано формирование месторождений чистого кварцевого сырья (Черемшанское, Чулбонское, Бурал-Сарьдаг, Атарханское), асбеста (Ильчирское, Молодежное), проявления хромитов с платинометалльной минерализацией (Гольцовый, Оспинский, Шаманский массивы) и ряд проявлений марганца. С этим же этапом связано начало формирования промышленного золотого оруденения в офиолитовых и островодужно-плюмовых комплексах (Зун-Холбинское, Барун-Холбинское, Зун-Оспинское, Владимирское и др.), а также в углеродистых толщах задуговых бассейнов (Барунгольское, Ольгинское, Медное, Ильчирское, Черемшанское и другие проявления) Восточного Саяна [5]. С эволюцией Келянской палеоостровной дуги связано формирование расслоенных ультрабазит-базитовых массивов с медно-никелевым оруденением (Маринкинский, Чайский, Авкитский, Йоко-Довыренский) и золотого оруденения (месторождения и проявления Иркиндинское, Кедровское, Юбилейное, Ирбинское, Нерундинское, Каменное, Каралон, Бахтернак и др.).

Рифтогенные структуры Байкало-Муйского пояса контролируют крупнейшее платино-золоторудное месторождение Сухой Лог, крупнейшее в мире Холодинское свинцово-цинковое месторождение и ряд других перспективных проявлений и месторождений. В результате деструкции раннекембрийской континентальной коры сформированы локальные спрединговые зоны (Шаманская и Бурлинская), контролирующие золотоносные россыпи. К подобным структурам приурочены в Северо-Байкальском и Муйском рудных районах проявления бериллия (Дылыбдыкит, Двуглавое, Анамакит, Абчада, Укучикта, Уакит и Левоминьская, Намаминская золото-полиметаллические зоны). Следует отметить выделение в Байкало-Муйском поясе крупнейшей платиноносной провинции, в которой первоочередными объектами на платиноиды являются крупные расслоенные никеленосые интрузивы — Йоко-Довыренский, Чайский, Нюрундуканский и др. [2].

*Каледонский этап* геодинамического развития рассматриваемого региона, охватывающий венд и нижний палеозой, является одним из важнейших эпизодов формирования складчатой структуры каледонид южного обрамления Сибирской платформы. Тектоническая история этих структур напрямую связана с историей заложения, развития и закрытия Палеоазиатского океана. Согласно палеомагнитных данных Сибирский континент располагался в приэкваториальной области и своей современной юго-западной стороной был повернут к северу. Развитая в северной части (в древних координатах 0–10° с.ш.) система островных дуг цепочкой опоясывала Прибайкальский клинообразный выступ Сибирского континента (рис. 3).

Установлено, что большинство островных дуг заложены в интервале 570–540 млн лет: Таннуольско-Хамсаринская (570), Джидинская (560–540), Ангино-Таланчанская (500), Удино-Витимская (545) [2, 4]. Отличительной особенностью раннего этапа эволюции активной окраины является присутствие бонинитовых вулканических серий и в целом толеитовая специфика магматизма, связанная с энсиматическими дугами. Смена магматизма на известково-щелочной калий-натровый, свойственный развитым энсиматическим дугам отмечается в середине кембрия. На территории Забайкалья индикаторными являются Джидинская и Удино-Витимская островодужные системы, которые, по нашему мнению, составляли основу Саяно-Байкальской ветви венд-раннепалеозойских островных дуг ПАО (рис. 3).

Наиболее изученной и типичной является *Джидинская островодужная система*, фрагменты которой распространены в бассейнах р. Джиды Юго-Западного Забайкалья и Ури-Гол и Эгийн-Гол на севере Монголии. Нами разработана комплексная модель геодинамической эволюции Джидинской островодужной системы Палеоазиатского океана в венде–палеозое от образования спредингового океанического бассейна с океаническими островами (гайотами), энсиматиче-



**Рис. 3. Палеогеодинамические реконструкции венд-раннепалеозойской активной окраины Сибирского континента (560–500 млн лет) по [4] с дополнениями:** а — региональная, б — глобальная реконструкция: 1 — Сибирский континент; 2 — пассивные окраины континента (БП — Байкало-Патомская, Е — Енисейская, ЮТ — Южно-Таймырская, ВХ — Верхоянская); 3 — кратонные блоки (АС — Алдано-Становой, АК — Ангаро-Канский, КБ — Канско-Бирюсинский, ПР — Протеросаянский, Ш — Шарыжалгайский) и микроконтиненты (ТМ — Тувино-Монгольский, Г — Гарганский, МС — Муйский); 4 — островные дуги с указанием ориентировки зон субдукции (черные треугольники), положения аккреционного клина (штриховая линия) и окраинных бассейнов; 5 — предполагаемые зоны спрединга в окраинных бассейнах и Палеоазиатском океане; 6 — крупные сдвиги. Буквами обозначены фрагменты островодужной системы (островодужные террейны): ЗК — Золотокитатский, КИ — Кийский, ТС — Терсинский, БТ — Батеневский, ГА — Горноалтайский, СС — Северо-Саянский, КТ — Куртушибинский, ЕР — Еравнинский (Удино-Витимский), ДЖ — Джидинский, АТ — Ангино-Таланчанский. КА — Кузнецко-Алатауская дуга. Пунктирной линией показано реконструированное движение океанической плиты ПАО в зону субдукции Джидинской островной дуги по палеомагнитным данным [4]

ской островной дуги с бонинитами, аккреционными призмами, габброидами и гранитоидами, задуговым флишевым спрединговым бассейном до формирования на их месте крупного аккреционно-коллизийного сооружения — Джидинской покровно-складчатой области [4, 6].

Венд-раннекембрийский этап соответствует активной спрединговой стадии ПАО и заложению Джидинской энсиматической островной дуги с обширным задуговым бассейном. Формирование надсубдукционной серии островной дуги фиксируется комплексом низкотитанистых примитивных толеитов. Они сменяются бонинитами с петрохимическими характеристиками бонинитов Идзу-Бонинской дуги и возрастом по U-Pb —  $542,1 \pm 4,2$  млн лет. Переход островной дуги от юной к зрелой стадии на рубеже раннего и среднего кембрия маркируется массовым появлением продук-

тов андезит-риолитового магматизма. На этом же этапе из периферических очагов внедрились многочисленные интрузивные тела габбро, диоритов, кварцевых диоритов и плагиогранитов, возраст которых по результатам U-Pb датирования составляет 506–504 млн лет [4, 6]. На завершающем этапе в позднем кембрии — начале ордовика бывшие симаунты заклинивают первичную зону субдукции, что приводит к скучиванию, утолщению коры, внедрению коллизионных гранитов плагиогранит-тоналитовой серии [6] и в итоге к трансформации островодужной системы в аккреционно-коллизионный ороген.

Другим ярким и своеобразным представителем Саяно-Байкальской ветви венд-раннепалеозойской активной окраины ПАО является *Удино-Витимская островодужная система*. Ее фрагменты прослеживаются вдоль долины р. Уда в верховьях р. Витим. Основу островодужного комплекса составляют мощные шлейфы вулканокластитов и лав среднего, кислого и смешанного составов. Они подразделяются на нормальную, субщелочную, умеренно-высококалийевую и шшонит-латитовую серии с U-Pb изотопным возрастом  $529 \pm 3$  млн лет и  $516 \pm 5$  млн лет. Установлена характерная поперечная вещественная зональность вулканитов. От фронта в тыл (с юго-востока на северо-запад) растут содержание  $K_2O$ , возрастают концентрации некогерентных и редких элементов, таких как Rb, Sr, U, Th, La, Ce, Nb, Zr, Hf, а также величины отношений Rb/Sr, La/Yb, Sr/Ce, Th/U, Zr/Y, La/Nb,  $Fe_2O_3/(FeO+Fe_2O_3)$ . Такая геохимическая специфика сближает данную базальт-андезит-дацит-риолитовую ассоциацию со зрелыми островодужными системами, наподобие Курило-Камчатской [3].

*Металлогения* каледонского этапа представлена в основном колчеданно-полиметаллическими и золоторудными месторождениями. Так, в пределах Джидинской островодужной системы энсиматического типа известны коренные и россыпные месторождения золота, связанные с формированием венд-раннепалеозойских офиолитов и островодужных гранитоидов. Специфика металлогении Удино-Витимской островодужной системы заключается в ее специализации на железорудное, колчеданное и колчеданно-полиметаллическое и благороднометалльное оруденение, сосредоточенное в основном в пределах Еравнинского рудного района. Одним из важнейших составляющих Еравнинского рудного района является Озернинский рудный узел, в пределах которого на площади 250 км<sup>2</sup> выявлено 12 месторождений, в том числе крупнейшее в стране Озерное колчеданно-полиметаллическое, и более 20 рудопроявлений разнообразных полезных ископаемых: Озерное, Ульзутуй-1, Звездное, Гундуй, Туркул, Аришинское, Назаровское, Магнетитовое-Солонго, Северо-Гурвунурское, Гурвунурское, Октябрьское, Солнечное и др. Озернинский рудный узел представляет собой крупный фрагмент длительно и полициклично развивающейся Еравнинской вулcano-тектонической структуры островодужного типа, приуроченной к узлу пересече-

ния долгоживущих разрывных нарушений, контролируемых развитием надсубдукционного магматизма и рудообразования [2].

#### **Внутриплитный (плюмовый) магматизм и связанные с ним месторождения**

*В среднем-верхнем палеозое* по всей южной окраине Сибирского континента в условиях рассеянного рифтогенеза и разнонаправленной субдукции проявились масштабные тектономагматические процессы. Они привели к образованию на окраине континента герцинских рифтогенных (внутриплитных) структур мирусинского типа, а также наложенных прогибов в Забайкалье (Урминский, Багдаринский, Уakitский и некоторые другие), представляющие собой фрагменты единого крупного палеобассейна позднего девона — среднего карбона [3]. Последний был связан с формированием Хэнтэй-Даурско-Агинской системы окраинно-континентальных срединговых морей Монголо-Охотского океанического бассейна с островодужными окраинами. Отложения рифтогенных герцинских вулканогенно-осадочных прогибов слабо-метаморфизованы, смяты в складки, разбиты многочисленными разломами и прорваны позднепалеозойскими гранитоидами.

Гранитоидный магматизм герцинского (позднепалеозойского) этапа заслуживает особого внимания, прежде всего, в силу своего необычайно широкого распространения. На уровне современного эрозионного среза разнообразные гранитоиды занимают порядка 80 % всей площади (более 200 000 км<sup>2</sup>), за что Забайкалье по праву называют «Морем гранитов». Подвляющая часть этих гранитов сформировалась в конце карбона — начале перми (325 — 275 млн лет назад), образовав один из крупнейших на Земле гранитоидных ареалов (рис. 4).

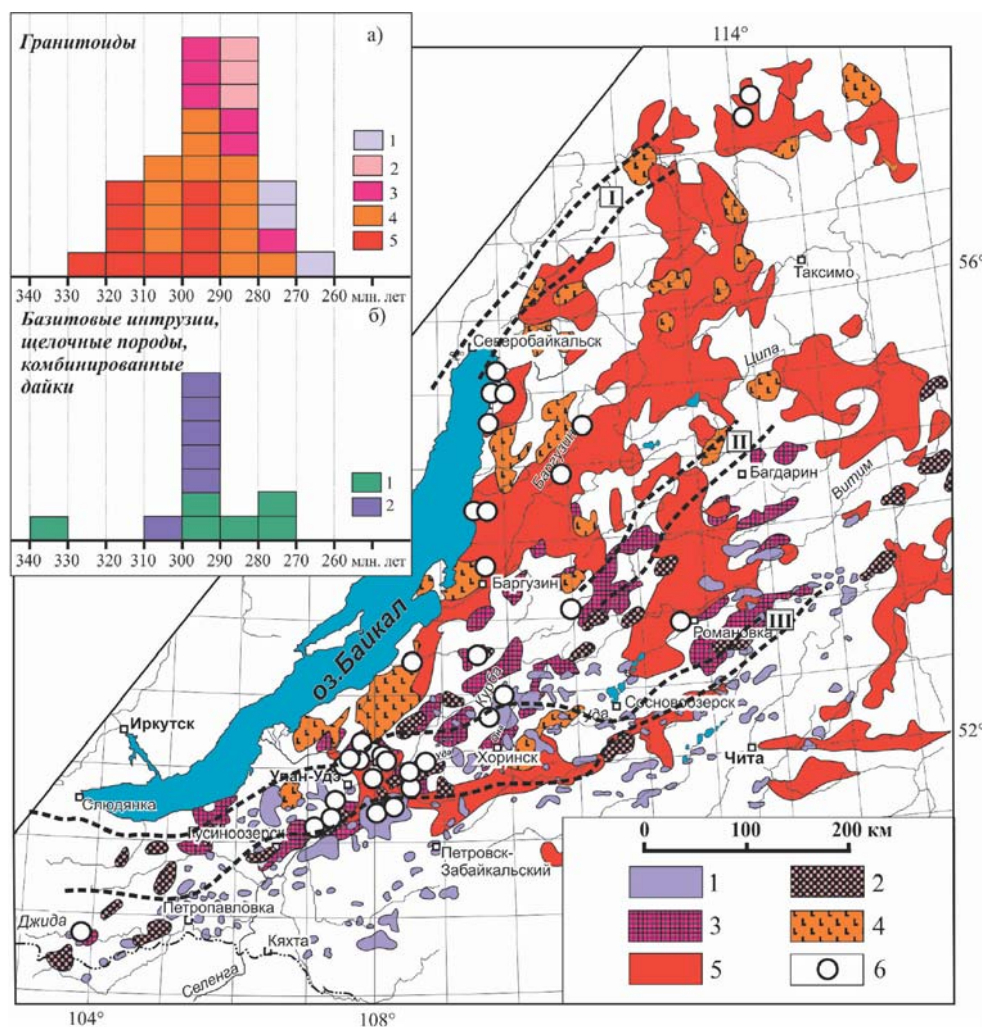
В течение этого периода было сформировано несколько интрузивных комплексов или точнее — ассоциаций магматических пород разной основности [11, 12]. На раннем этапе (325–290 млн лет) происходило внедрение «коровых» известково-щелочных гранитов баргузинского комплекса, слагающих один из крупнейших в мире Ангаро-Витимский батолит (ареал-плутон) площадью свыше 150 000 км<sup>2</sup> (рис. 4). Несколько позже (305–285 млн лет назад) началось синхронное формирование двух магматических ассоциаций, различающихся набором пород и их петро-геохимическими характеристиками: 1) высоко калиевые известково-щелочные кварцевые монцониты, кварцевые сиениты (чивыркуйский комплекс); 2) переходные от известково-щелочных к субщелочным лейкограниты и кварцевые сиениты (зазинский комплекс). Обе ассоциации сопровождаются синплутоническими базитовыми интрузиями и комбинированными дайками, гранитоиды часто содержат мафические включения, что в совокупности с промежуточными изотопными характеристиками пород указывает на смешанный мантийно-коровый источник салических магм. На следующем этапе в интервале 285–278 млн лет формировались породы высококалийевой серии — кварцевые сиениты и монцо-

ниты, часто дифференцированные до субщелочных гранитов, обогащенные калием габброиды (нижнеселенгинский комплекс), а за ними со значительным перекрытием во времени (281–278 млн лет) — щелочные и щелочно-полевошпатовые сиениты и граниты (раннекуналейский комплекс), которые, в отличие от всех предыдущих гранитоидных ассоциаций, сопровождались трахибазальтами, трахитами и трахириолитами, образующими лавовые покровы и дайковые пояса. Продукты щелочно-салического и щелочно-базитового магматизма в виде сотен разновеликих плутонов гранитоидов А-типа и небольших лавовых полей груп-

пируются в полосу северо-восточного простирания, известную как Монголо-Забайкальский или Селенгино-Витимский вулканоплутонический пояс, формирование которого продолжалось, возможно с перерывами, с позднего карбона-перми до конца триаса [1, 12].

**Металлогения** герцинского этапа обусловлена главным образом рифтогенными (внутриплитными) постколлизийными процессами, а также островодужным и коллизийным магматизмом на активных континентальных окраинах Монголо-Охотского океанического бассейна. С этим этапом на территории Забайкалья открыты молибденовые (Жарчиха, Мало-Ойногорское, Талинское), бериллиевое (Снежное), вольфрамовое (Оланское) месторождения и танталониобиевые с редкими землями (Сайвоинское, Муйское, Оймурское, Безымянское, Биту-Джидинское, Утуликское и др.) проявления. С рифтогенными структурами герцинского этапа связано формирование щелочных массивов Северного Прибайкалья с редкометальной и редкоземельной минерализацией (Сыннырский и Бурпала). Сынныриты этих массивов являются источником калийного и глиноземистого сырья. Особый интерес представляют массивы нефелинсодержащих пород (Мухальский, Бурульзайский), включающие крупное месторождение небокситового глиноземистого сырья. С габбро-сиенитовой формацией связано титаномагнетитовое оруденение (Арсентьевский, Хайльский массивы).

**Мезозойская (киммерийская) история** геодинамического развития территории Забайкалья связана с надвижением Сибирского континента на структуры Монголо-Охотского океанического бассейна. В результате проявления этих процессов оказалась перекрыта спрединговая зона этого бассейна и сформировались на окраине континента вдоль Монголо-Охотского линеймента овальные зоны «расеянного» рифтогенеза и



**Рис. 4. Схема расположения позднепалеозойских гранитоидов Западного Забайкалья по [12] с дополнениями:** 1 — щелочно-полевошпатовые и щелочные граниты и сиениты Монголо-Забайкальского вулканоплутонического пояса (раннекуналейский (280–273 млн лет) и позднекуналейский (230–210 млн лет) комплексы); 2 — высококальциевая монзонит-сиенит-кварцевосиенитовая с синплутоническими базитами интрузивная серия (нижнеселенгинский комплекс — 285–278 млн лет); 3 — переходные, от высококальциевых известково-щелочных до субщелочных (alkaline) граниты и кварцевые сиениты с синплутоническими базитами (засинский комплекс — 305–285 млн лет); 4 — высококальциевые известково-щелочные кварцевые монзониты, кварцевые сиениты и габброиды (чивыркуйский комплекс — 305–285 млн лет); 5 — известково-щелочные граниты авто- и аллохтонной фаций (баргузинский комплекс, 325–290 млн лет); 6 — места отбора проб, в которых проводилось U-Pb изотопно-геохронологическое датирование цирконов. Пунктирными линиями обозначены предполагаемые контуры позднепалеозойских рифтовых структур: I — Сыннырская, II — Сайженская, III — Уда-Витимская. На врезке гистограммы распределения U-Pb возрастов цирконов из позднепалеозойских магматических пород Западного Забайкалья: а) — гранитоидные комплексы: 1 — раннекуналейский, 2 — нижнеселенгинский, 3 — засинский, 4 — чивыркуйский, 5 — баргузинский; б) — 1 — габбро-монзонитовые массивы, 2 — щелочные породы [11 и ссылки в этой работе]



«распыленного» магматизма. Только на территории Забайкалья к настоящему времени выделено более двухсот рифтогенных впадин, сложенных разнообразными вулканическими и осадочными комплексами. Завершение мезозойского этапа развития региона выражено максимальным проявлением магматических пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых. В первую очередь следует отметить формирование в южных районах Западного Забайкалья протяженного пояса проявлений и месторождений молибденовых и вольфрамовых руд, а также бериллиевой и карбонатитовой провинций.

С киммерийским этапом связаны промышленные концентрации бериллия (Ермаковское, Оротское, Ауник, Амандак и др.), стронция, флюорита и редких земель (Халютинское, Аршанское, Наранское, Эгитинское, Акитское и др.). В это время сформировано профилирующее на территории Забайкалья вольфрамовое (Холтосонское, Булуктаевское, Инкурское, Бом-Горхонское и др.), молибденовое (Первомайское, Ореkitканское), медно-молибденовое (Телемба, Малло-Кударинское) и урановое (Стрельцовская группа месторождений, Хиагда) оруденение.

#### **Заключение**

Приведенные материалы по геодинамическим условиям формирования важнейших месторождений полезных ископаемых в пределах байкальской, каледонской, герцинской и киммерийской подвижных областей Саяно-Байкальской складчатой области полностью подтверждают вывод о том, что каждой категории активных зон Земли свойствен строго определенный набор формационных типов магматических пород, находящихся между собой в закономерных сочетаниях, в результате чего в каждой геодинамической обстановке возникает своя, только ей присущая магматическая и соответственно металлогеническая зональность.

Новые фактические материалы по геодинамике и минерации представляют собой научные основы формирования минерально-сырьевой базы Саяно-Байкальского региона, которые на современном уровне могут быть эффективно использованы при строительстве промышленных горно-обогатительных комбинатов, а также при проведении поисково-оценочных работ как на ранее известных, так и на новых объектах.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гордиенко, И.В. Геодинамическая эволюция поздних байкалид и палеозойд складчатого обрамления юга Сибирской платформы / И.В. Гордиенко // Геология и геофизика. — 2006. — Т. 47. — № 1. — С. 53–70.
2. Гордиенко, И.В. Геодинамические обстановки и металлогения Саяно-Байкальской горной области / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, Д.А. Орсов // Отечественная геология. — 2013. — № 3. — С. 7–15.
3. Гордиенко, И.В. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее-палеозое / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, С.В. Руженцев, О.Р. Минина, В.С. Климук, Л.И. Ветлужских, Г.Е. Некрасов, Н.И. Ласточкин, В.С. Ситникова, Д.В. Метелкин, Т.А. Гонегер, Е.Н. Лепехина // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51. — № 5. — С. 589–614.
4. Гордиенко, И.В. Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах Палеоазиатского океана / И.В. Гордиенко, Д.В. Метелкин // Геология и геофизика. — 2016. — Т. 57. — № 1. — С. 91–108.

5. Гордиенко, И.В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения / И.В. Гордиенко, П.А. Рошкетаев, Д.В. Гороховский // Геология рудных месторождений. — 2016. — № 5. — С. 405–429.
6. Гордиенко, И.В. Джидинская островодужная система Палеоазиатского океана: строение и основные этапы геодинамической эволюции в венде-палеозое / И.В. Гордиенко, А.В. Филимонов, О.Р. Минина, М.А. Горнова, А.Я. Медведев, В.С. Климук, А.Л. Елбаев, О. Томуртоого // Геология и геофизика. — 2007. — Т. 48. — № 1. — С. 120–140.
7. Кузьмин, М.И. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений / М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолюк // Геология и геофизика. — 2014. — Т. 55. — № 2. — С. 153–184.
8. Кузьмичев, А.Б. Неопротерозойские островные дуги Восточного Саяна: длительность магматической активности по результатам датирования вулканокластиков по цирконам / А.Б. Кузьмичев, А.Н. Ларионов // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54. — № 1. — С. 45–57.
9. Хераскова, Т.Н. Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана / Т.Н. Хераскова, В.А. Буш, А.Н. Диденко, С.Г. Самыгин // Геотектоника. — 2010. — № 1. — С. 5–28.
10. Цыганков, А.А. Магматическая эволюция Байкало-Муйского вулканоплутонического пояса в позднем докембрии / А.А. Цыганков. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 306 с.
11. Цыганков, А.А. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье / А.А. Цыганков, Г.Н. Бурмакина, В.Б. Хубанов, М.Д. Буянтуев // Петрология. — 2017. — Т. 25. — № 4. — С. 395–418.
12. Цыганков, А.А. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования) / А.А. Цыганков, Б.А. Литвиновский, Б.М. Джань, М. Рейков, Д.И. Лю, А.Н. Ларионов, С.Л. Пресняков, Е.Н. Лепехина, С.А. Сергеев // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51. — № 9. — С. 1249–1276.

© Гордиенко И.В., Цыганков А.А., 2017

Гордиенко Иван Власович // gord@pres.bscnet.ru  
Цыганков Андрей Александрович // tsygan@gin.bscnet.ru

УДК 553.89

**Гомбоев Д.М., Андросов П.В. (АО «Забайкальское горнорудное предприятие»), Кислов Е.В. (ГИН СО РАН)**

### **КАВОКТИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ СВЕТЛО-ОКРАШЕННОГО НЕФРИТА: УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА**

«Золото имеет цену, нефрит же бесценен»  
*Древняя китайская поговорка*

«Нефрит как сила познания, ибо гладок и блестит. Он как справедливость, ибо у него острые края, но они не режут... Он как правдивость, ибо не скрывает изъянов, которые лишь усиливают его красоту. Он как земля, а его стойкость рождена горами и водой»

*Конфуций*

*Охарактеризовано геологическое строение и качественные показатели нефрита Кавоктинского месторождения апкарбонатного светлоокрашенного нефрита в Средне-Витимской горной стране. Показана зависимость качества и цвета нефрита от химического состава, определяемого вмещающими породами и гипергенными процессами.*  
**Ключевые слова:** нефрит, Кавоктинское месторождение, вмещающие породы, элементы-хроматофоры.