

А.А. МОНГУШ, С.-С.С. МОНГУШ, Ч.О. КАДЫР-ООЛ

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

## **ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ДОЛГОЖИВУЩЕЙ ПАЛЕОРИФТОГЕННОЙ КААХЕМСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ЗОНЫ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)**

Проявления магматизма в Каахемской структурной зоне на субдукционном этапе проявлены в виде: раннекембрийских (?) задуговых офиолитов и субщелочных габброидов зубовского комплекса; на аккреционно-коллизийном этапе: габброидным и плагиигранитоидным магматизмом (Тапсинский и Караосский массивы); на постаккреционном этапе: позднеордовикскими (Майский массив) и раннесилурийскими (Караосский / Перевальный массив) габброидами, девонским кислым магматизмом в обрамлении рифта, единичными проявлениями кайнозойского базальтового вулканизма. Каахемский палеорифт образовался, возможно, в ответ на коллизию Таннуольско-Хамсаринской островной дуги и океанического плато (метабазальты джебашской серии) в результате раскола и дальнейшего спрединга субконтинентального склона Тувино-Монгольского микроконтинента в пределах Восточно-Тувинского задугового бассейна в раннекембрийское (?) время. Субортогональное простираение Каахемской зоны по отношению к Таннуольско-Хамсаринской островной дуге обусловило разделение дуги на Таннуольский и Хамсаринский сегменты при её обдукции на Тувино-Монгольский микроконтинент с одновременным разворотом по часовой стрелке. И именно субортогональное положение Каахемской зоны к зоне субдукции и, соответственно, к генеральной линии тектонического сжатия во время аккреционно-коллизийных процессов, возможно, обусловило её долгоживущий характер в качестве зоны повышенной тектонической и магматической проницаемости.

*Ключевые слова:* палеорифт, аккреция, задуговый бассейн, тектоника, магматизм.

Рис. 5. Библ. 39 назв. С. 34–48.

*Работа выполнена в рамках работ по государственному заданию ТувИКОПР СО РАН: Научная тема № 222020400035-4*

A.A. MONGUSH, S.-S.S. MONGUSH, Ch.O. KADYR-OOL

*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

### **THE FORMATION GEODYNAMICS OF THE LONG-LIVED**

### **PALEORIFTOGENIC KAA-KHEM STRUCTURAL ZONE (EASTERN TUVA)**

Magmatism manifestations in the Kaa-Khem structural zone at the subduction stage are manifested in the form of: Early Cambrian (?) back-arc ophiolites and sub-alkaline gabbroids of the Zubovsky complex; at the accretion-collision stage: gabbroid and plagiogranitoid magmatism (Tapsa and Karaos massifs); at the post-accretion stage: Late Ordovician (Maysky massif) and Early Silurian (Karaos / Perevalny massif) by gabbroids, Devonian acid magmatism framed by the rift, isolated manifestations of Cenozoic basalt volcanism. The Kaakhem paleorift was formed, possibly due to the collision of the Tannuola-Khamsara island arc and the oceanic plateau (metabasalts of the Dzhebash series) as a result of the faultline and further spreading of the subcontinental slope of the Tuva-Mongolian microcontinent within the East Tuva back-arc basin in the Early Cambrian (?) time. The suborthogonal extension of the Kaakhem zone in relation to the Tannuola-Khamsara island arc caused the arc to be divided into the Tannuola and Khamsara segments when it was projected onto the Tuva-Mongolian microcontinent with a simultaneous clockwise reversal. And it is

precisely the suborthogonal position of the Kaakhem zone to the subduction zone and, accordingly, to the general line of tectonic compression during accretion-collision processes that may have caused its long-lived character as a zone of increased tectonic and magmatic permeability.

*Keywords:* paleorift, accretion, back-arc basin, tectonics, magmatism.

Figures 5. References 39. P. 34–48.

**ВВЕДЕНИЕ.** Каахемская зона представляет собой долгоживущую сквозькоровую зону тектонических нарушений, к которой приурочены выходы магматических и осадочных пород разной геодинамической позиции и возраста (докембрийского, кембрийского, ордовикского, силурийского, девонского, кайнозойского). Она представляет собой палеорифтогенную зону, известную под названием Каахемской, а также наследующую её зону нео- и новейшей тектоники, называемую Каахемской зоной разломов. В кайнозое тектоническая активность выразилась в образовании хр. Акад. Обручева вдоль Каахемской зоны разломов и в сейсмической активности. Возникает вопрос: чем обусловлен долгоживущий характер данной зоны? В имеющихся публикациях, посвящённых магматизму и тектонике этой зоны, данный вопрос не рассматривался.

**ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.** Каахемская зона протяжённостью до 200 км и шириной до 20 км представляет собой палеорифтогенную зону или палеорифт (Черезов и др., 1999; Лебедев и др., 1999; Зайков, 2006; Сугоракова, Бутанасев, 2014). Последний был заложен на субконтинентальном склоне Тувино-Монгольского микроконтинента (Черезов и др., 1999; Добрецов и др., 2005). По отношению к генеральному север-северо-восточному простиранию основных структурных зон Тувы и Западного Саяна (с юго-востока на северо-запад): Тувино-Монгольского микроконтинента, Восточно-Тувинской задуговой зоны, Таннуольско-Хамсаринской островодужной зоны, Саяно-Тувинской преддуговой зоны, Западно-Саянского турбидитового бассейна, Каахемский палеорифт имеет поперечную, западную-юго-восточную, ориентировку. Он пересекает Таннуольско-Хамсаринскую зону на южный Ондум-Таннуольский и северный Хамсаринский блоки, что, видимо, является следствием аккреционно-коллизионных процессов.

Согласно результатам палеомагнитных исследований, на рубеже раннего-среднего кембрия произошла глобальная тектоническая перестройка, выразившаяся в смене направления движения раннекалендонских структур Алтае-Саянской складчатой области, в частности, развороте островодужных структур по часовой стрелке, в т. ч. более чем на 90° (Кунгурцев и др., 2001; Куренков и др., 2002). Свидетельствами такого разворота могут являться:

- 1) поперечная или диагональная ориентировка палеоструктурных элементов Таннуольско-Хамсаринской зоны к её генеральному простиранию, установленная на основании геологических и петрохимических данных (Берзин, Кунгурцев, 1996; Гоникберг, 1999; Зайков, 2006); в частности, с Тувино-Монгольским микроконтинентом контактируют и фронтальная Ондумская, и тыловая Таннуольская островодужные подзоны (*рис. 1*) (Монгуш и др., 2013);
- 2) образование глубокометаморфизованных комплексов на северо-западной периферии Тувино-Монгольского микроконтинента, которые в наибольшей степени испытали коллизию с островодужными террейнами — моренский, эрзинский и шутхулайский метаморфические комплексы (*см. рис. 1*); тектонический этап эволюции северо-западной части Сангилена в интервале 510–490 млн л. фиксируется сменой правосдвигово-взбросовой на левосдвиговую кинематику на фоне косой коллизии Тувинского сегмента V–Є<sub>1</sub> островной дуги с Тувино-Монгольским массивом (Владимиров и др., 2005), что согласуется с вышеуказанными данными о развороте по часовой стрелке островодужных структур начиная с рубежа раннего и среднего кембрия (Монгуш, 2017).

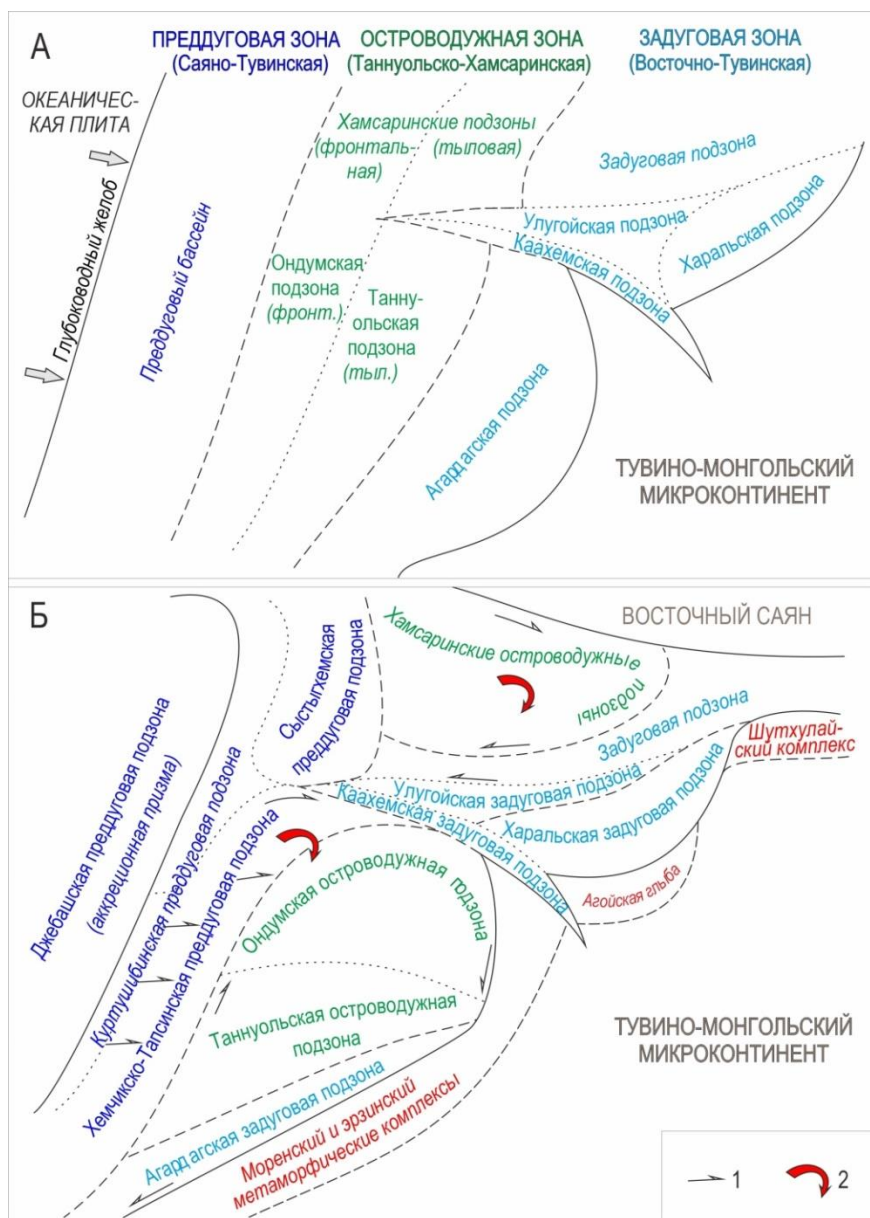


Рисунок 1. Схема тектонической эволюции островодужных комплексов Тувы:

А — доколлизийный этап (до 510 млн л.)

Б — коллизийный этап (510–480 млн л.)

1 — направление сдвиговых перемещений палеотектонических единиц; 2 — разворот палеотектонических единиц по часовой стрелке.

Динамика Каахемского палеорифта как структуры, образованной при спрединге субконтинентальной коры на склоне Тувино-Монгольского микроконтинента и тем самым жёстко «привязанной» к нему, во время коллизии, видимо, была совершенно иной по сравнению с островодужными структурами Таннуольско-Хамсаринской зоны. Последние, по всей видимости, были обдуцированы на субконтинентальный склон Тувино-Монгольского микроконтинента и развернуты на  $\sim 90^\circ$ .

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ.** Каахемская палеорифтогенная зона сложена структурно-вещественными комплексами, выделяемыми в составе Каахемской подзоны Восточно-Тувинской задуговой зоны и Хемчикско-Тапсинской подзоны Саяно-Тувинской преддуговой зоны (см. рис. 1). В Каахемской задуговой подзоне наиболее древними являются метаморфические образования, относящиеся к Тувино-Монгольскому микроконтиненту. В данной подзоне представлены также офиолиты, имеющие определённые черты сходства состава пород с аномально обогащёнными задуговыми базальтами бассейна Вудларк на юго-западе Тихого океана и образованные в ходе спрединговых процессов при расколе субконтинентальной литосферы (Котляров, Симонов, 2003; Добрецов и др., 2005). С каахемскими офиолитами ассоциирует нижнекембрийская тапсинская карбонатно-терригенная толща с фауной археоциатов (Бухаров, 1979), что предполагает близкий к ней возраст офиолитов (рис. 2, 3).

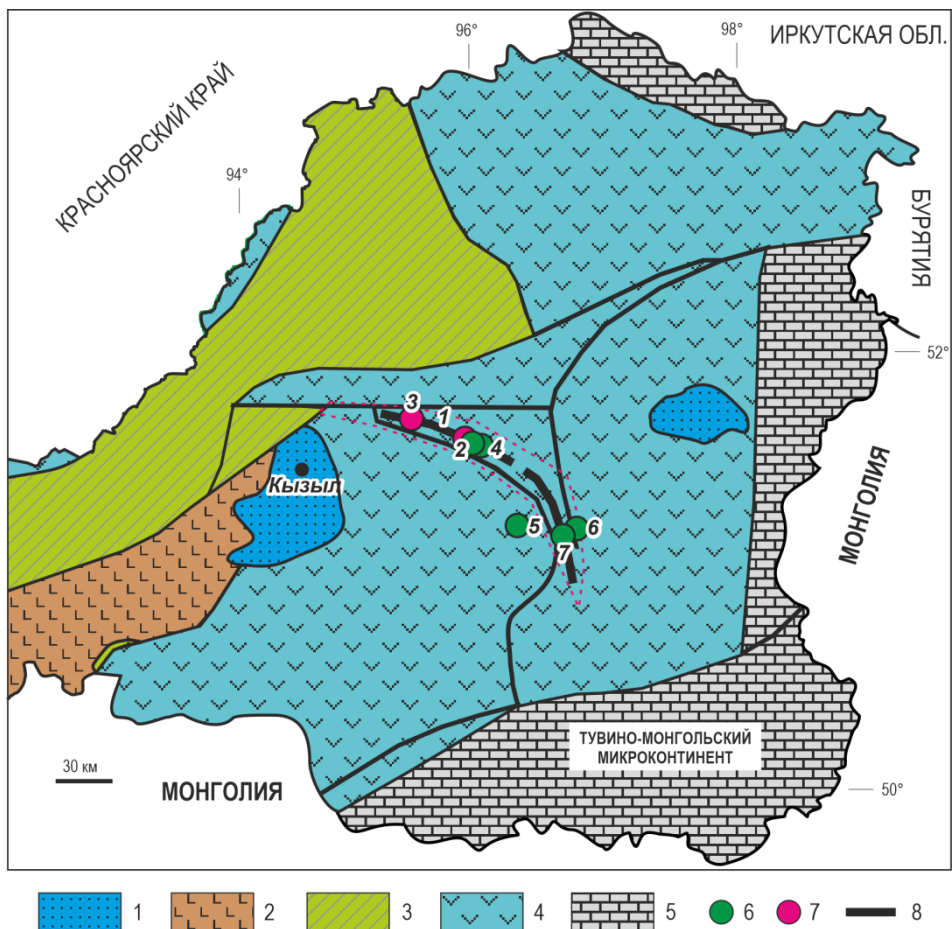


Рисунок 2. Схема структурно-формационного районирования восточной части Республики Тыва (составлена с использованием данных: Никитчин и др., 1983)

1 — мезозойские наложенные впадины; 2 — герциниды; 3 — поздние каледониды; 4 — ранние каледониды; 5 — байкалиды; 6 — габброидные массивы; 7 — гранитоидные массивы; 8 — офиолиты. Цифрами показаны номера упомянутых в тексте массивов: 1 — массив офиолитов в верховьях р. Бол. Копто, 2 — Караосский, 3 — Тапсинский, 4 — массив раннекембрийских (?) субщелочных габбро зубовского комплекса, 5 — Шуйский, 6 — Майский, 7 — Чадалский. Контуром показана Каахемская зона.

Каахемская рифтогенная зона, сформированная в виде поперечной депрессии на континентальном склоне Тувино-Монгольского континента, имеет западный наклон

поверхности её фундамента и клиновидное уменьшение мощности земной коры при продвижении в этом направлении. Этим обстоятельством обусловлена продольная зональность магматизма, выраженная в тенденции к повышению глинозёмистости, общей щёлочности и калиевости его продуктов при продвижении с запада на восток (Черезов и др., 1999; Зайков, 2006).

В северном обрамлении Каахемского рифта представлены V–E<sub>1</sub> осадочно-вулканогенные образования Улугуйской подзоны, по геохимическим характеристикам соответствующие в основном базальтам задуговых бассейнов (Зайков, 2006; Симонов и др., 1999, 2003). В раннем девоне между структурами Каахемской и Улугуйской задуговых подзон образовался Дерзигский грабен. В южном обрамлении Каахемского рифта представлены островодужные комплексы Ондумской подзоны, среди которых находятся тектонические окна (?) метаморфических пород (PR<sub>2</sub> билинская свита) Тувино-Монгольского микроконтинента (Никитчин и др., 1983).

К западу Каахемская задуговая подзона тектонически контактирует с Хемчикско-Тапсинской преддуговой подзоной; последняя, в своём восточном окончании, также тектонически соприкасается с Ондумской островодужной подзоной (см. рис. 1). В зоне контакта этих трёх разнотипных подзон проявлен олистостромовый комплекс, а также малые, предположительно синколлизийные, тела габброидов (E<sub>2-3</sub>?). В восточном окончании Хемчикско-Тапсинской подзоны, на её стыке с Ондумской подзоной, среди олистолитов олистостромы присутствуют: а) крайне низкощелочные ультранатровые плагиориолиты, аналогичные островодужным плагиориолитам ондумской свиты и очень похожие по геохимическому составу на наиболее древние островодужные плагиограниты Ондумской подзоны с возрастом 563–572 млн л. (Руднев и др., 2020), б) высокотитанистые базальты, в т. ч. по геохимическому составу похожие на базальты алдынбулакской толщи Западной Тувы, в) нерасчленённые базальты с низкими содержаниями несовместимых элементов и их слабофракционированным распределением (наши неопубликованные данные).

Отметим, что на предварительной геодинамической карте Алтае-Саянского региона рассматриваемая нами Каахемская рифтогенная зона представляет собой восточную часть Хемчикско-Каахемской аккреционной зоны, сложенную преимущественно океаническими породами (Berzin, 1999). Однако, данные о задуговых геохимических характеристиках каахемских офиолитов (см. выше) приводят к необходимости отчленить Каахемскую задуговую подзону в рамках традиционной схемы структурно-формационного районирования Тувы (Никитчин и др., 1983).

В центральной части Каахемской рифтогенной зоны, в поле развития *каахемских офиолитов* в истоках р. Бол. Копто, выявлены постофиолитовые средне-позднекембрийские синколлизийные плагиограниты с возрастом  $499 \pm 16$  млн л. (Симонов и др., 2009; Котляров, 2010). Вероятно, парагенетически с ними связаны и штоки габбро, «сидящие» на том же участке каахемских офиолитов (наблюдения А.А. Монгуша в 1997 г.). Здесь известны также синколлизийные *Караосский* ( $490 \pm 3$  млн л.) и *Тапсинский* ( $486 \pm 4$  млн л.) плагиогранитоидные массивы, прорывающие нижнекембрийскую тапсинскую толщу. В юго-восточной части Караосского массива закартированы предположительно раннекембрийские габброиды субщелочного ряда (*зубовский комплекс*) (Никитчин и др., 1983). В пределах Караосского плагиогранитоидного массива выявлен также небольшой перидотит-пироксенит-габброноритовый массив (Караосский/Перевальный) раннесилурийского ( $437 \pm 7$  млн л.) возраста (Монгуш и др., 2006; Монгуш, 2019).

В юго-восточной части данной зоны выявлены позднеордовикские внутриплитные габброидные *Майский* и *Шуйский* ( $449 \pm 2$  млн л.) массивы в ассоциации с гранитоидами аналогичного возраста  $450 \pm 5$  млн л. (Руднев и др., 2006; Монгуш, Сугоракова, 2013), а также находящиеся в минглинговых соотношениях субщелочные габброиды *Чадальского массива* и щелочные гранитоиды шивейского комплекса, сформированные в возрастном промежутке 290–280 млн л. (Сугоракова и др., 2011; Кадыр-оол и др., 2017; Кармышева и др., 2022).



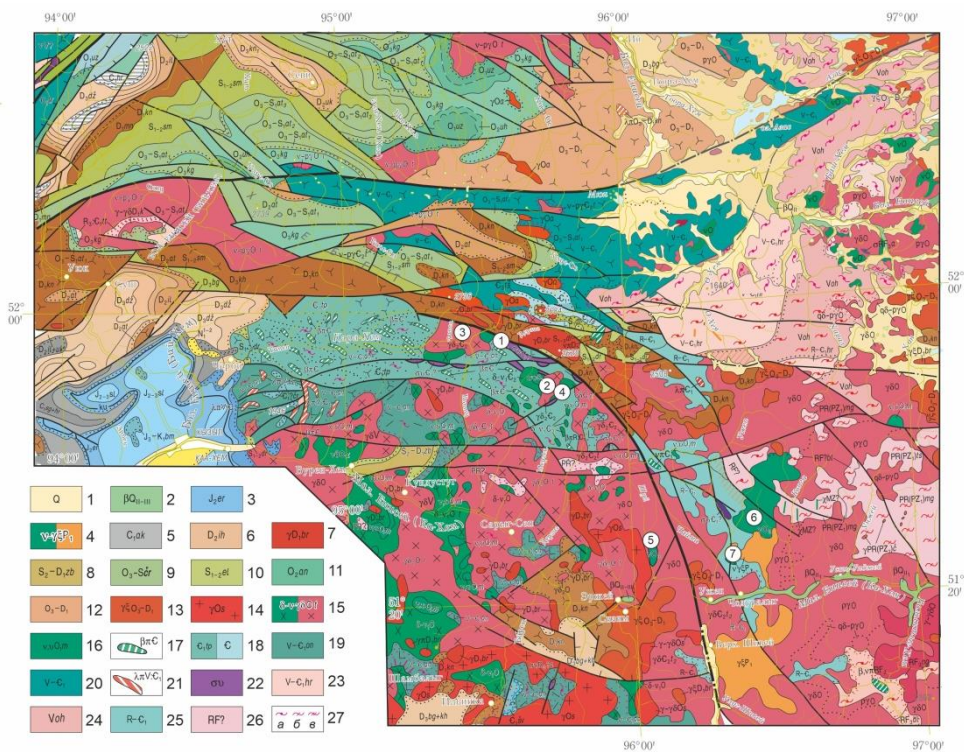


Рисунок 3. Геологическая карта нижнего течения рек Каа-Хем и Бий-Хем (по данным геологической съёмки м-ба 1 : 1 000 000 нового поколения (Беззубцев, Перфилова, 2008; Александровский, Должковой, 2008; Александровский и др., 2011; Галимова, Пашкова, 2012) с изменениями в легенде)

1 — Q отложения; 2 — Q базальты; 3 — J отложения; 4 — P<sub>1</sub> габбро и щелочные граниты (минглинг); 5 — C отложения; 6 — D отложения; 7 — D<sub>1</sub> бреньский граносиенит-гарнитный комплекс; 8 — S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub> песчаники, алевролиты, карбонатные конкреции; 9 — O<sub>3</sub>-S песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, конгломераты; 10 — S отложения; 11 — O отложения; 12 — O<sub>3</sub>-D<sub>1</sub> отложения; 13 — O<sub>3</sub>-D<sub>1</sub> граниты; 14 — O сархойский гранодиорит-гранитный комплекс; 15 — преимущественно O габбро-диорит-гранодиорит-плагιοгранитные ассоциации; 16 — O<sub>1</sub> мажалькский перидотит-пироксенит-габброноритовый комплекс; 17 — E<sub>1</sub> малые интрузии габбро; 18 — E<sub>1</sub> тапсинская толща, в т. ч. олистостромовая, археоциатосодержащая, другие кембрийские толщи нерасчленённые; 19 — V-E<sub>1</sub> отложения онудумской свиты; 20 — V-E<sub>1</sub> отложения (туматтайгинской свиты); 21 — V-E<sub>1</sub> субвулканические порфиры (онудумской свиты); 22 — офиолитовые базиты и гипербазиты; 23 — V-E<sub>1</sub> отложения харальской серии; 24 — V отложения охемской свиты; 25 — R-E<sub>1</sub> вулканогенно-осадочные отложения; 26 — R(?) метаморфические образования; 27 — фации метаморфизма: а — зеленосланцевая, б — эпидот-амфиболитовая, в — амфиболитовая. Массивы: 1 — офиолиты Бол. Копто, 2 — Караосский, 3 — Тапсинский, 4 — массив зубовского комплекса, 5 — Шуйский, 6 — Майский, 7 — Чадалский.

Вдоль север-северо-восточного экзоконтакта Каахемской рифтогенной зоны широко проявлен девонский магматизм (Дерзигский грабен), представленный вулканитами нижнедевонской кендейской свиты и гранитными массивами, наиболее известным из которых является Дерзигский массив бреньского комплекса. U-Pb датировка одного из массивов этого комплекса составляет  $385 \pm 5$  млн л. (Руднев и др., 2006).

В северном и юго-восточном экзоконтактах Каахемской зоны разломов, а также предположительно в бассейне р. Тапса проявлен позднеолигоцен-раннемиоценовый базальтовый вулканизм (Сугоракова и др., 2003).

Таким образом, в пределах Каахемской рифтогенной зоны магматическая активность широко была проявлена в кембрии и ордовике, эпизодически в раннем силуре, ранней перми и кайнозойе. В девоне вдоль северного экзоконтакта

Каахемского рифта был заложен Дерзигский грабен как составная часть Тувинского рифтогенного прогиба (Телешев, Поляков, 1978).

### О СХЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ИЛИ ИДЕЯХ ФОРМИРОВАНИЯ КААХЕМСКОГО РИФТА

1. *Мантийный диапиризм.* В позднем рифее происходит внедрение мантийного диапира. В его эпицентральной области происходит образование субрадиальных рифтоподобных зон, выходящих за пределы этой области, в т. ч. Каахемского (рис. 4) и Агардагского рифтов (Коробейников, Исаков, 1981).

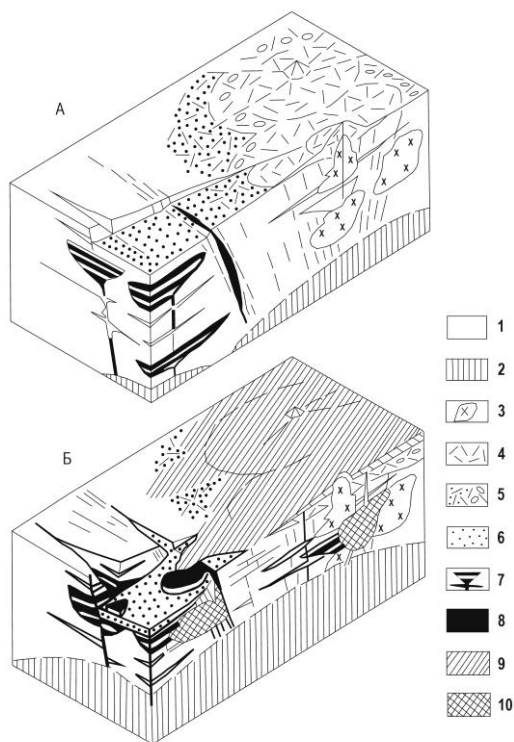


Рисунок 4. Схема формирования Каахемского жёлоба-разлома в позднем рифее (по: Коробейников, Исаков, 1981)  
А, Б — последовательные стадии формирования

1 — субстрат; 2 — апикальная часть термально-мантийного диапира; 3 — очаги генерации кислой магмы и субвулканические гранитоиды; 4 — липариты; 5 — пирокластика липаритов; 6 — турбидиты; 7 — расслоенные базит-ультрабазиты, силлы; 8 — ультрабазиты; 9 — базальты; 10 — габбро.

2. *Погружение литосферной мантии.* Наличие в районе Тувы «заливообразного» в направлении Сибирского кратона изгиба единой субдукционной границы Палеоазиатского океана резко затруднило субдукцию и способствовало утолщению и охлаждению здесь океанической литосферы с дальнейшим очень длительным, медленным и пульсационно-прерывистым погружением «охлаждённого» и «отяжелённого» блока мантийной части литосферы, сопровождавшегося компенсационной дегазацией подстилающих горизонтов мантии и компенсационным перемещением вверх магматических расплавов. Над краевой частью погружающегося блока мантии размещался Таннуольско-Хамсаринский блок, представляющий собой блюдцеобразное горстовое поднятие активизированного шельфа Тувино-Монгольского микроконтинента. Блок подвергался интенсивному горизонтальному сжатию. Оно вызвано как схождением смежных литосферных плит, так и погружением подстилающего блока мантии, под воздействием которого он как бы «засасывался» внутрь Земли. Под воздействием погружающегося блока мантии Таннуольско-Хамсаринский блок коры подвергался гравитационному раздавливанию («будинированию»), следствием которого явилось возникновение в его центральной части Каахемской рифтогенной зоны, контролируемой системой дугообразных расходящихся обратных сбросов, выступавших в качестве границ структурно-формационных подзон и проникавших в смежные тектонические зоны (Черезов и др., 1999;

Лебедев и др., 1999).

3. *Раскрытие рифта в окраинном море.* Геодинамический режим в венде–кембри для Восточной Тувы соответствовал активной континентальной окраине кордильерского типа, рассечённой рифтами (Каахемским, Агардагским, Хемчикско-Куртушибинским). К характерным чертам окраин такого типа относятся заложение вулканических сооружений на континентальном склоне и шельфе и широкое проявление вулcano-плутонической ассоциации. К раскрытию рифтов привели горизонтальные перемещения в Саяно-Тувинском окраинном море. Причины горизонтальных перемещений усматриваются либо в поддвижении коры океанического типа под континентальную окраину вследствие спрединга, либо в надвигании Тувино-Монгольского микроконтинента на окраинное море (Зайков, 2006).

**ОБСУЖДЕНИЕ.** Из вышеприведённых трёх схематических моделей образования Каахемского рифта более реалистичным, на наш взгляд, является третья модель. Тектоническое положение Каахемской рифтогенной зоны похоже на таковое бассейна Вудларк на юго-западе Тихого океана. Бассейн Вудларк, в котором идёт спрединг субконтинентальной коры, примыкает с юго-запада к Соломоновым островам, которые, в свою очередь, с северо-востока контактируют с океаническим плато Онтонг Джава (рис. 5) (Taylor, Huchon, 2002; Котляров, Симонов, 2003; Добрецов и др., 2005).

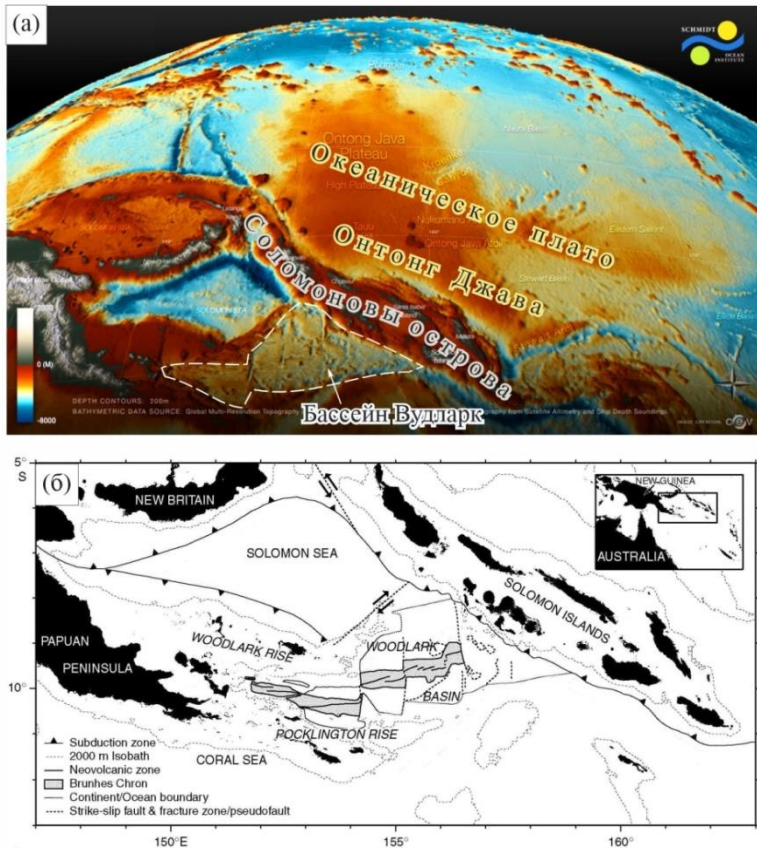


Рисунок 5. Расположение бассейна Вудларк Соломоновых островов и океанического плато Онтонг Джава на 3D-карте Океанического института SCHMIDT (а) и тектоническое строение бассейна Вудларк (б) (по: Taylor, Huchon, 2002) с упрощениями)

С учётом данных вышеуказанной третьей схематической модели раскрытия



*рифта в окраинном море* (по В.В. Зайкову) и данных по бассейну Вудларк можно предположить, что в раннем кембрии (?) в пределах Восточно-Тувинского задугового бассейна начался раскол субконтинентальной коры на склоне Тувино-Монгольского микроконтинента. В ходе спрединговых процессов были сформированы каахемские офиолиты, возраст которых, предположительно, является раннекембрийским в виду их ассоциации с археоцитатсодержащей тапсинской толщей.

Каахемский рифт мог появиться в процессе аккреционно-коллизийных событий, в частности, в ответ на коллизию островной дуги и океанического плато (метабазальты джебашской серии). Субперпендикулярная ориентация Каахемского рифта по отношению к границе Тувино-Монгольского микроконтинента может являться кинематическим следствием коллизийного рифтинга в зонах лобового столкновения (Лобковский и др., 2004). Вместе с тем, геодинамика формирования Каахемского рифта может быть во многом обусловлена теми же процессами, что привели к образованию задуговой спрединговой котловины Вудларк. В данном случае предполагается циклическая смена сжатия и растяжения во время аккреции океанской литосферы и плавный закруглённый контур, образующийся под воздействием вихревой компоненты тектоники (Мирлин, Миронов, 2014).

Время формирования Каахемского рифта, возможно, соответствует началу аккреционных событий в тувинском сегменте Центрально-Азиатского подвижного пояса на рубеже венда и кембрия (при этом субдукция продолжалась до конца раннего кембрия, после чего началась главная фаза аккреции-коллизии) (Гоникберг, 1999; Владимиров и др., 2005; Монгуш и др., 2011). Субперпендикулярное простираие Каахемского рифта к Таннуольско-Хамсаринской островной дуге привело к тому, что в процессе обдукции дуги на Тувино-Монгольский микроконтинент, с одновременным её разворотом по часовой стрелке, она была разделена на два блока: Ондум-Таннуольский и Хамсаринский, а преддуговые комплексы пришли в непосредственное соприкосновение с задуговыми каахемскими офиолитами (см. рис. 1). На постаккреционном этапе в девонское время вдоль северо-восточного обрамления Каахемского рифта был образован рукав Тувинского рифтогенного пригиба.

Проявления магматизма в Каахемской зоне на субдукционном этапе: раннекембрийские (?) задуговые офиолиты и субщелочные габброиды зубовского комплекса; аккреционно-коллизийном этапе: габброидный (штоки габбро?) и плагиогранитоидный магматизм (Тапсинский и Караосский массивы); постаккреционном этапе: позднеордовикские (Майский массив) и раннесилурийские (Караосский/Переверальный массив) габброиды, девонский кислый магматизм в обрамлении рифта, единичные проявления кайнозойского базальтового вулканизма.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.** Образование Каахемской палеорифтогенной зоны связано с расколом и дальнейшим спредингом субконтинентального склона Тувино-Монгольского микроконтинента в пределах Восточно-Тувинского задугового бассейна в раннекембрийское (?) время.

Субортогональное простираие Каахемской зоны по отношению к Таннуольско-Хамсаринской островной дуге обусловило разделение дуги на Таннуольский и Хамсаринский сегменты при её обдукции на Тувино-Монгольский микроконтинент с одновременным разворотом по часовой стрелке. Именно субортогональное положение Каахемской зоны к зоне субдукции и, соответственно, к генеральной линии тектонического сжатия во время аккреционно-коллизийных процессов, возможно, обусловило её долгоживущий характер в качестве зоны повышенной тектонической и магматической проницаемости.

*Работа выполнена в рамках работ по государственному заданию  
ТувИКОПР СО РАН: Научная тема № 222020400035-4.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Александровский Ю.С., Должковой Б.М.* Государственная геологическая карта м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). М-46 (Кызыл). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
- Александровский Ю.С., Семенов М.И., Шаталина Т.А.* Государственная геологическая карта м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). М-47 (Кунгуртуг). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.
- Беззубцев В.В., Перфилова О.Ю.* Государственная геологическая карта м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). N-46 (Абакан). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В.* Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 1. – С. 63–81.
- Бухаров Н.С.* О стратиграфии отложений нижнего кембрия в Восточной Туве // Материалы по геологии Тувинской АССР: Вып. IV. – Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1979. – С. 39–52.
- Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибиер А.С., Травин А.В., Руднев С.Н., Шемелина И.В., Барабаш Н.В., Савиных Я.В.* Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилен (Юго-Восточная Тува, Центральная Азия) как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизийного тектогенеза // Докл. РАН. – 2005. – Т. 405. – № 1. – С. 82–88.
- Галимова Т.Ф., Пащикова А.Г.* Государственная геологическая карта м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). N-47 (Нижнеудинск). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012.
- Гоникберг В.Е.* Роль сдвиговой тектоники в создании орогенной структуры ранних каледонид Юго-Восточной Тувы // Геотектоника. – 1999. – № 3. – С. 89–102.
- Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М., Котляров А.В.* Магматизм и геодинамика Палеоазиатского океана на венд-кембрийском этапе его развития // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 9. – С. 952–967.
- Зайков В.В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. – М.: Наука, 2006. – 429 с.
- Кадыр-оол Ч.О., Сугоракова А.М., Хертек А.К.* Минералого-геохимические особенности пород зоны минглинга Шивейского и Чадалского массивов (Восточная Тува) // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (18–20.10.2017, Кызыл, Россия). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2017. – С. 169–173.
- Кармышева И.В., Яковлев В.А., Сугоракова А.М., Руднев С.Н., Семёнова Д.В.* Позднепалеозойский контрастный магматизм восточной части Каахемского магматического ареала (Центрально-Азиатский складчатый пояс) // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 1–24.
- Коробейников В.И., Исаков В.М.* Структура сопряжения Каахемской и Восточно-Тувинской зон и формирование древнего жёлоба-разлома // Геология и геофизика. – 1981. – № 11. – С. 18–28.
- Котляров А.В., Симонов В.А.* Геологическое строение и особенности формирования офиолитов Каахемского пояса (Восточная Тува) // Металлогения древних и современных океанов–2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах: Материалы 9 науч. студенческой шк. / Отв. ред.: В.В. Зайков, Е.В. Белогуб. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. – С. 35–39.
- Котляров А.В.* Петрология офиолитовых ассоциаций Южной и Восточной Тувы: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2010. – 185 с.
- Кунгурцев Л.В., Берзин Н.А., Казанский А.Ю., Метелкин Д.В.* Тектоническая эволюция структуры Юго-Западного обрамления Сибирской платформы в венде-кембрии по палеомагнитным данным // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 7. – С. 1042–1051.
- Куренков С.А., Диденко А.Н., Симонов В.А.* Геодинамика палеоспредиинга. – М.: ГЕОС, 2002. – 294 с.
- Лебедев В.И., Черезов А.М., Лебедева М.Ф.* Особенности металлогении фанерозоя Тувы и Северо-Западной Монголии // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 11. – С. 1646–1654.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. – М.: Научный мир, 2004. – 612 с.
- Мирлин Е.Г., Миронов Ю.В.* Роль вихревого движения в геодинамике Эгейского моря (на основе сравнительного анализа с геодинамикой котловины Вудларк) // Вестн. Камчатской

- рег. ассоц. «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. – 2014. – № 2, вып. 24. – С. 173–185.
- Монгуш А.А., Лебедев В.И., Симонов В.А., Сугоракова А.М.* Соотношение офиолитов и интрузивных массивов в Каахемской рифтогенной зоне (Тува) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещ. Вып. 4. В 2-х т. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. – Т. 2. – С. 45–47.
- Монгуш А.А., Лебедев В.И., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Дружкова Е.К., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В., Загорная Н.Ю., Травин А.В., Серов П.А.* Тектономагматическая эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде – раннем кембрии (на основе геохимических, Nd-изотопных и геохронологических данных) // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 5. – С. 649–665.
- Монгуш А.А., Сугоракова А.М.* Возраст и источники магм постколлизонных габброидов Каахемского магматического ареала, Восточная Тува: результаты первых  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  и Sm-Nd исследований // Геохимия. – 2013. – № 11. – С. 1042–1047.
- Монгуш А.А., Терлеев А.А., Токарев Д.А., Дружкова Е.К.* Гранитоиды и известняки из конгломератов преддуговой зоны Таннуольско-Хамсаринской островодужной системы (Тува): геохимия, палеонтология, корреляция // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2013. – № 372. – С. 184–192.
- Монгуш А.А.* Офиолиты Западного Саяна и Западной Тувы — автохтонные комплексы Саяно-Тувинской преддуговой зоны V–C<sub>1</sub> островной дуги Палеоазиатского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 15. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. – С. 194–196.
- Монгуш А.А.* Новые данные о возрасте и вещественном составе Кара-Осского перидотит-пироксенит-габброноритового массива (Тува) // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12. – С. 108–115.
- Никитчин П.А., Шибанов В.И., Бухаров Н.С., Чучко В.Н., Александров Г.П.* Геологическая карта Тувинской АССР. М-6 1 : 500 000 / Гл. ред.: А.А. Подкаменный, М.Л. Шерман. – Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
- Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Пономарчук В.А., Бибикина Е.В., Сергеев С.А., Матуков Д.И., Плоткина Ю.В., Бянова Т.Б.* Каахемский полихронный гранитоидный батолит (Восточная Тува): состав, возраст, источники и геодинамическая позиция // Литосфера. – 2006. – № 2. – С. 3–33.
- Руднев С.Н., Мальковец В.Г., Белоусова Е.А., Туркина О.М., Семёнова Д.В.* Изотопный Lu-Hf состав циркона и источники магм венд-раннепалеозойских гранитоидов Тувы (на примере Каахемского и Восточно-Таннуольского батолитов) // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61. – № 10. – С. 1331–1355.
- Симонов В.А., Зайков В.В., Ковязин С.В.* Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) // Металлогения древних и современных океанов–99: Материалы 5 науч. студенческой шк. – Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. – С. 16–23.
- Симонов В.А., Зайков В.В., Котляров А.В., Тереня Е.О.* Петролого-геохимические особенности и палеогеодинамика кембрийских магматических комплексов Восточной Тувы // Вестн. Томского гос. ун-та. Серия «Науки о Земле» (геология, география, метеорология, геодезия). Приложение № 3 (III), апрель 2003: Проблемы геологии и географии Сибири: Материалы науч. конф., посвящ. 125-летию основания Томского гос. ун-та и 70-летию образования геолого-географического ф-та (02–04.04.2003, Томск) / Гл. ред. Г.В. Майер; науч. ред. Г.Б. Князев и др. – Томск: Томский гос. ун-т, 2003. – С. 189–191.
- Симонов В.А., Котляров А.В., Котов А.Б.* Петрология, геохимия, и условия формирования офиолитов Тувы // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы науч. совещ. по Программе фундам. исследований ОНЗ РАН. Серия 7: в 2-х т. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – Т. 2. – С. 80–81.
- Сугоракова А.М., Ярмлюк В.В., Лебедев В.И.* Кайнозойский вулканизм Тувы / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук А.Э. Изов. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. – 92 с.

- Сугоракова А.М., Ярмолюк В.В., Лебедев В.И., Лыхин Д.А. Позднепалеозойский щёльногранитоидный магматизм Тувы и его связь с внутриплитными процессами в пределах Сибирского палеоконтинента // Докл. АН. – 2011. – Т. 439. – № 5. – С. 641–647.
- Сугоракова А.М., Бутанаев Ю.В. Каахемская рифтогенная зона (история заложения и развития) // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг.: Материалы науч. совещ. по Базовому проекту ТувИКОПР СО РАН VIII.78.1.4 (15–17.04.2014, Кызыл, Россия). – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2014. – С. 83–85.
- Телешев А.Е., Поляков Г.В. Вещественный состав и петрохимия ассоциаций девонских вулканических и плутонических пород Восточной Тувы // Вопросы магматической геологии Сибири: Вып. 402. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 88–114.
- Черезов А.М., Сугоракова А.М., Черезова О.С. Тектоника и зональность ультрабазит-базитового магматизма Каахемской рифтогенной зоны Тувы // Вопросы петрологии, минералогии, геохимии и геологии офиолитов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – С. 150–156.
- Berzin N.A. Preliminary terrane and overlap assemblage map of Altai-Sayan region // Preliminary publications. Book 1 from project on mineral resources, metallogenesis, and tectonics of Northeast Asia / Ed. by. W.J. Nokleberg et al. Open-File Report 99–165. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 1999. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr99165>.
- Taylor B., Huchon F. Active continental extension in the Western Woodlark basin: a synthesis of Leg 180 results // Proc. ODP Sci. Results. – 2002. – Vol. 180. – P. 1–36. – DOI: 10.2973/odp.proc.sr.180.150.2002.

## REFERENCES

- Alexandrovsky Yu.S., Dolzhkova B.M. *Gosudarstvennaia geologicheskaiia karta m-ba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie)* [State geological map of scale 1 : 1 000 000 (third generation)]. M–46 (Kyzyl). St Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. (In Russ.)
- Alexandrovsky Yu.S., Semenov M.I., Shatalina T.A. *Gosudarstvennaia geologicheskaiia karta m-ba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie)* [State geological map of scale 1 : 1 000 000 (third generation)]. M–47 (Kungurtug). St Petersburg, VSEGEI Publ., 2011. (In Russ.)
- Berzin N.A. Preliminary terrane and overlap assemblage map of Altai-Sayan region. Preliminary publications. Book 1 from project on mineral resources, metallogenesis, and tectonics of Northeast Asia / ed. by. W.J. Nokleberg et al. Open-File Report 99–165. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 1999. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr99165>.
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. *Geodinamicheskaiia interpretatsiia geologicheskikh kompleksov Altae-Saiianskoi oblasti* [Geodynamic interpretation of geological complexes of the Altai-Sayan region]. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*, 1996, vol. 37, no. 1, pp. 63–81. (In Russ.)
- Bezzubtsev V.V., Perfilova O.Yu. *Gosudarstvennaia geologicheskaiia karta masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie)* [State geological map of scale 1 : 1 000 000 (third generation)]. N–46 (Abakan). St Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. (In Russ.)
- Bukharov N.S. O stratigrafii otlozhenii nizhnego kembriia v Vostochnoi Tuve [Stratigraphy of Lower Cambrian deposits in Eastern Tuva]. Materials on geology of the Tuva ASSR. Is. IV. Kyzyl, Tuvan Book Publ. House, 1979, pp. 39–52. (In Russ.)
- Cherezov A.M., Sugorakova A.M., Cherezova O.S. Tektonika i zonal'nost' ul'trabazit-bazitovogo magmatizma Kaakhemskoi riftogennoi zony Tuvy [Tectonics and zonality of ultrabasite-basite magmatism of the Kaakhem rift zone of Tuva]. Questions of petrology, mineralogy, geochemistry and geology of ophiolites. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, 1999, pp. 150–156. (In Russ.)
- Dobretsov N.L., Simonov V.A., Buslov M.M., Kotlyarov A.V. Magmatism and geodynamics of the Paleasian ocean at the Vendian-Cambrian stage of its evolution. *Russian Geology and Geophysics*, 2005, vol. 46, no. 9, pp. 933–951.
- Galimova T.F., Pashkova A.G. *Gosudarstvennaia geologicheskaiia karta m-ba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie)* [State geological map of scale 1 : 1 000 000 (third generation)]. N–47 (Nizhneudinsk). St Petersburg, VSEGEI Publ., 2012. (In Russ.)
- Gonikberg V.E. Rol' sdvigovoi tektoniki v sozdanii orogennoi struktury rannikh kaledonid Iugo-Vostochnoi Tuvy [The role of shear tectonics in the creation of the orogenic structure of the Early Caledonids of Southeastern Tuva]. *Geotektonika = Geotectonics*, 1999, no. 3, pp. 89–102. (In Russ.)

- Kadyr-ool Ch.O., Sugorakova A.M., Hertek A.K. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti porod zony minglinga Shiveiskogo i Chadalskogo massivov (Vostochnaia Tuva) [Mineralogical-geochemical features of rocks of the mingling zone in the Shiveysky and Chadalsky massifs (Eastern Tuva)]. Regional economy: technologies, economics, ecology and infrastructure: Materials of the II International Scientific and Practical Conference (18–20.10.2017, Kyzyl, Russia). Kyzyl, TuvIENR SB RAS Publ., 2017, pp. 169–173. (In Russ.)
- Karmysheva I.V., Yakovlev V.A., Sugorakova A.M., Rudnev S.N., Semenova D.V. Pozdnepaleozoyskiy kontrastnyy magmatizm vostochnoy chasti Kaakhemskogo magmaticheskogo areala (Tsentral'no-Aziatskiy skladchatyy poiyas) [Late Paleozoic contrasting magmatism of the Eastern Kaakhem magmatic area (Central Asian Orogenic Belt)]. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics and Tectonophysics*, 2022, vol. 13, no. 3, pp. 1–24. (In Russ.)
- Korobeynikov V.I., Isakov V.M. Struktura sopriazheniia Kaakhemskoi i Vostochno-Tuvinskoi zon i formirovanie drevnego zheloba-razloma [The structure of conjunction of the Kaa-Khem and East Tuva zones and the formation of an ancient trough-fault]. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*, 1981, no. 11, pp. 18–28. (In Russ.)
- Kotlyarov A.V. *Petrologiia ofiolitovykh assotsiatsii Iuzhnoi i Vostochnoi Tuvy* [Petrology of ophiolite associations of Southern and Eastern Tuva]. Dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Novosibirsk, IGM SB RAS Publ., 2010, 185 p. (In Russ.)
- Kotlyarov A.V., Simonov V.A. Geologicheskoe stroenie i osobennosti formirovaniia ofiolitov Kaakhemskogo poiasa (Vostochnaia Tuva) [Geological structure and features of the formation of ophiolites of the Kaakhem belt (Eastern Tuva)]. Metallogeny of ancient and modern oceans–2003. Forming and developing of deposits in island arc systems. Miass, Institute of Mineralogy of the Ural Department of the Russian Academy of Sciences Publ., 2003, pp. 35–39. (In Russ.)
- Kungurtsev L.V., Berzin N.A., Kazansky A.Yu., Metelkin D.V. Tektonicheskaia evoliutsiia struktury Iugo-Zapadnogo obramleniia Sibirskoi platformy v vende-kembrii po paleomagnitnym dannym [Tectonic evolution of the structure of the Southwest framing of the Siberian platform in the Vendian-Cambrian according to paleomagnetic data]. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*, 2001, vol. 42, no. 7, pp. 1042–1051. (In Russ.)
- Kurenkov S.A., Didenko A.N., Simonov V.A. *Geodinamika paleospreyinga* [Geodynamics of paleospreying]. Moscow, GEOS Publ., 2002, 294 p. (In Russ.)
- Lebedev V.I., Cherezov A.M., Lebedeva M.F. Osobennosti metallogenii fanerozoia Tuvy i Severo-Zapadnoi Mongolii [Features of metallogeny of the Phanerozoic of Tuva and North-Western Mongolia]. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*, 1999, vol. 40, no. 11, pp. 1646–1654. (In Russ.)
- Lochkovsky L.I., Nikishin A.M., Khain V.E. *Sovremennye problemy geotektoniki i geodinamiki* [Modern problems of geotectonics and geodynamics]. Moscow, Scientific World Publ., 2004, 612 p. (In Russ.)
- Mirlin E.G., Mironov Yu.V. Rol' vikhrevogo dvizheniia v geodinamike Egeiskogo moria (na osnove sravnitel'nogo analiza s geodinamikoi kotlovinyy Vudlark) [The role of vortex motion in the geodynamics of the Aegean Sea (based on a comparative analysis with the geodynamics of the Woodlark basin)]. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy assotsiatsii «Uchebno-nauchnyy tsentr». Seriya: Nauki o Zemle = Bulletin of the Kamchatka Regional Association “Educational and Scientific Center”. Series: Earth Sciences*, 2014, vol. 24, no. 2, pp. 173–185. (In Russ.)
- Mongush A.A., Lebedev V.I., Simonov V.A., Sugorakova A.M. Sootnoshenie ofiolitov i intruzivnykh massivov v Kaakhemskoi riftogennoi zone (Tuva) [Correlation of ophiolites and intrusive massifs in the Kaakhem rift zone (Tuva)]. Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent): Materials of the meeting. Is. 4. In 2 vol. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust SB RAS Publ., 2006, vol. 2, pp. 45–47. (In Russ.)
- Mongush A.A., Lebedev V.I., Kovach V.P., Salnikova E.B., Druzhkova E.K., Yakovleva S.Z., Plotkina Yu.V., Zagornaya N.Yu., Travin A.V., Serov P.A. Tektonomagmaticheskaya evolyutsiia strukturno-veshchestvennykh kompleksov Tannuol'skoy zony Tuvy v pozdnem vende – rannem kembrii (na osnove geokhimicheskikh, Nd izotopnykh i geokhronologicheskikh dannykh) [Tectonomagmatic evolution of structural-material complexes of the Tannuola zone of Tuva in the Late Vendian-Early Cambrian (based on geochemical, Nd isotopic and geochronological data)]. *Geologiya i geofizika = Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 5, pp. 503–516. (In Russ.)



- Mongush A.A., Sugorakova A.M. Vozrast i istochniki magm postkollizionnykh gabbroidov Kaakhemskogo magmaticheskogo areala, Vostochnaya Tuva: rezul'taty pervykh  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  i Sm-Nd issledovaniy [Age and magma sources of the post-collisional gabbroids of the Kaakhem magmatic area, Eastern Tuva: first  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and Sm-Nd data]. *Geokhimiya = Geochemistry international*, 2013, vol. 51, no. 11, pp. 939–943. (In Russ.)
- Mongush A.A., Terleev A.A., Tokarev D.A., Druzhkova E.K. Granitoidy i izvestnyaki iz konglomeratov preddugovoy zony Tannuol'sko-Khamsarinskoy ostrovoduzhnoy sistemy (Tuva): geokhimiya, paleontologiya, korrelyatsiya [Granitoids and limestones from conglomerates of the fore arc zone of the Tannuola-Khamsara island arc system (Tuva): geochemistry, paleontology, correlation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Bulletin*, 2013, no. 372, pp. 184–192. (In Russ.)
- Mongush A.A. Ofiolity Zapadnogo Saiana i Zapadnoi Tuvy – avtokhtonnye komplekсы Saiano-Tuvinskoi preddugovoi zony V–E1 ostrovnoi dugi Paleoziat'skogo okeana [Ophiolites of Western Sayan and Western Tuva – autochthonous complexes of the Sayan-Tuva fore arc zone V–E1 of the island arc of the Paleosianic Ocean]. Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from ocean to continent): Materials of the meeting. Is. 15. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust SB RAS Publ., 2017, pp. 194–196. (In Russ.)
- Mongush A.A. Novyye dannyye o vozraste i veshchestvennom sostave Kara-Osskogo peridotit-piroksenit-gabbronoritovogo massiva (Tuva) [New data on the age and material composition of the Kara-Os peridotite-pyroxenite-gabbronorite massif (Tuva)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia = Successes of modern natural sciences*, 2019, no. 12, pp. 108–115. (In Russ.)
- Nikitchin P.A., Shibanov V.I., Bukharov N.S., Chuchko V.N., Alexandrov G.P. *Geologicheskaya karta Tuvinskoi ASSR. Masshtab 1:500000* [Geological map of the Tuva ASSR. Scale 1:500000] / ed. by A.A. Podkamenny, M.L. Sherman. Leningrad, VSEGEI Publ., 1983. (In Russ.)
- Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Ponomarchuk V.A., Bibikova E.V., Sergeev S.A., Matukov D.I., Plotkina Yu.V., Bayanova T.B. Kaakhemskiy polikhronnyy granitoidnyy batolit (Vostochnaya Tuva): sostav, vozrast, istochniki i geodinamicheskaya pozitsiya [Kaakhemsky polychronous granitoid batholith (Eastern Tuva): composition, age, sources and geodynamic position]. *Litosfera = Lithosphere*, 2006, no. 2, pp. 3–33. (In Russ.)
- Rudnev S.N., Mal'kovets V.G., Turkina O.M., Semenova D.V., Belousova E.A. Izotopnyy Lu-Hf sostav tsirkona i istochniki magm vend-rannepaleozoyskikh granitoidov Tuvy (na primere Kaakhemskogo i Vostochno-Tannuol'skogo batolitov) [Lu-Hf Isotope composition of zircon and magma sources of the Vendian-Early Paleozoic granitoids in Tuva (the Kaa-Khem and East Tannu-Ola batholiths case study)]. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 2020, vol. 61, no. 10, p. 1088–1108. (In Russ.)
- Simonov V.A., Zaikov V.V., Kovyazin S.V. *Paleogeodinamicheskie usloviia razvitiia gidrotermal'nykh sistem Kyzyl-Tashtygskogo mestorozhdeniia (Vostochnaya Tuva)* [Paleogeodynamic conditions for the development of hydrothermal systems of the Kyzyl-Tashtyg deposit (Eastern Tuva)]. Metallogeny of ancient and modern oceans–99: Metallogeny of ancient and modern oceans–99: Proceedings of the 5<sup>th</sup> scientific school. Miass, IMIn UrO RAS Publ., 1999, pp. 16–23. (In Russ.)
- Simonov V.A., Zaikov V.V., Kotlyarov A.V., Terenya E.O. Petrologo-geokhimicheskiye osobennosti i paleogeodinamika kembriyskikh magmaticheskikh kompleksov Vostochnoy Tuvy [Petrologic-geochemical features and paleogeodynamics of Cambrian magmatic complexes of Eastern Tuva]. Bulletin of the Tomsk State University. Earth Sciences series (geology, geography, meteorology, geodesy). Appendix no. 3 (III), April 2003: Problems of geology and geography of Siberia: Proceedings of the scientific conference dedicated to the 125<sup>th</sup> Anniversary of the Foundation of Tomsk State University and the 70<sup>th</sup> Anniversary of the Faculty of Geology and Geography (April 02–04, 2003, Tomsk) / ed. by G.V. Mayer; scientific ed. G.B. Knyazev et al. Tomsk, Tomsk State Publishing House university, 2003, pp. 189–191 (In Russ.)
- Simonov V.A., Kotlyarov A.V., Kotov A.B. Petrologiya, geokhimiya i usloviia formirovaniia ofiolitov Tuvy [Petrology, geochemistry, and conditions of formation of ophiolites of Tuva]. Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent): Materials of the meeting. In 2 vol. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2009, vol. 2, pp. 80–81. (In Russ.)
- Sugorakova A.M., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I. Kainozoiskii vulkanizm Tuvy [Cenozoic volcanism of Tuva] / ed. by A.E. Izokh. Kyzyl, TuvIENR SB RAS, 2003, 92 p. (In Russ.)

- Sugorakova A.M., Lebedev V.I., Yarmolyuk V.V., Lykhin D.A. Pozdnepaleozoyskiy shchelochnogranitoidnyy magmatizm Tuvy i yego svyaz' s vnutriplitnymi protsessami v predelakh Sibirskogo paleokontinenta [Late Paleozoic alkali-granitic magmatism of Tuva and its relation to intraplate activity within the Siberian paleocontinent]. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2011, vol. 439, no. 2, pp. 1070–1075.
- Sugorakova A.M., Butanaev Yu.V. Kaakhemskaia riftogennaia zona (istoriia zalozheniia i razvitiia) [Kaa-Khem rift zone (history of foundation and development)]. Tuva earthquakes 2011–2012: Materials of the scientific Meeting within the Basic project of TuvIENR SB RAS VIII.78.1.4 (15–17.04.2014, Kyzyl, Russia). Kyzyl, TuvIENR SB RAS, 2014, pp. 83–85. (In Russ.)
- Taylor B., Huchon F. Active continental extension in the Western Woodlark basin: a synthesis of Leg 180 results. *Proc. ODP Sci. Results*, 2002, vol. 180, pp. 1–36. DOI: 10.2973/odp.proc.sr.180.150.2002.
- Teleshev A.E., Polyakov G.V. Veshchestvennyi sostav i petrokhimiiia assotsiatsii devonskikh vulkanicheskikh i plutonicheskikh porod Vostochnoi Tuvy [Material composition and petrochemistry of associations of Devonian volcanic and plutonic rocks of Eastern Tuva]. *Voprosy magmaticheskoy geologii Sibiri = Problems of magmatic geology of Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, is. 402, pp. 88–114. (In Russ.)
- Vladimirov V.G., Vladimirov A.G., Gibsher A.S., Travin A.V., Rudnev S.N., Shemelina I.V., Barabash N.V., Savinykh Ya.V. Model' tektono-metamorficheskoy evolyutsii Sangilena (Yugo-Vostochnaya Tuva, Tsentral'naya Aziya) kak otrazheniye rannekaledonskogo akkretsiionno-kollizionnogo tektogeneza [Model of tectonometamorphic evolution for the Sangilen (Southeastern Tuva, Central Asia) as a the Early Caledonian accretion-collision tectogenesis]. *Doklady Rossiyskoy akademii nauk = Reports of the Russian Academy of Sciences*, 2005, vol. 405, no. 8, pp. 1159–1165. (In Russ.)
- Zaikov V.V. *Vulkanizm i sul'fidnye kholmy paleookeanicheskikh okrain: na primere kolchedanonosnykh zon Urala i Sibiri* [Volcanism and sulfide hills of paleoceanic margins: pyrite-bearing zones of the Urals and Siberia case study]. Moscow, Nauka Publ, 2006, 429 p. (In Russ.)