



<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0450>

LATE PALEOZOIC ROCK DEFORMATION OF THE KURAI BLOCK: STRUCTURAL-KINEMATIC ANALYSIS (UPPER KURAIKA RIVER, GORNÝ ALTAI, RUSSIA)

M. A. Abildaeva^{1,2}, S. V. Zinoviev^{1,3}, M. M. Buslov^{1,2,3}

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

² Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Abstract: In the Kurai ridge located in the southeastern Gorný Altai (Altai Mountains, Russia) metamorphic rocks of the Kurai complex are widely developed: granite-gneisses, crystalline schists and amphibolites, including widespread Early Carboniferous mylonites and blastomylonites. Oriented samples of blastomylonites were taken from the upper reaches of the Kuraika river for the microstructural study aimed to determine the kinematics of movements. The analyses of thin cut samples show structural-kinematic indicators that suggest two deformation events (left-lateral shearing, then right-lateral shearing).

Key words: Kurai metamorphic complex; blastomylonite; kinematic analysis; fold-nappe structure; strike-slip fault

SHORT COMMUNICATION

Received: April 8, 2019

Revised: July 8, 2019

Accepted: August 22, 2019

For citation: Abildaeva M.A., Zinoviev S.V., Buslov M.M., 2019. Late Paleozoic rock deformation of the Kurai block: structural-kinematic analysis (upper Kuraika river, Gorný Altai, Russia). *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (4), 937–943. doi:10.5800/GT-2019-10-4-0450.

Funding: The study was a part of the IGM SB RAS Research Programme and supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 18–35–00411) and the RF Government (Project No. 14. Y 26.31.0029).

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОРОД КУРАЙСКОГО БЛОКА: СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ВЕРХОВЬЯ РЕКИ КУРАЙКА, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

М. А. Абилдаева^{1,2}, С. В. Зиновьев^{1,3}, М. М. Буслов^{1,2,3}

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

³ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

Аннотация: В пределах Курайского хребта юго-восточной части Горного Алтая широко распространены метаморфические породы курайского комплекса. Он представлен гранитогнейсами, кристаллическими сланцами и амфиболитами, среди которых развиты раннекарбоновые милониты и бластомилониты. По отобранному в верховьях реки Курайка ориентированным образцам бластомилонитов проведено микроструктурное исследование с целью определения кинематики движений. В шлифах по структурно-кинематическим индикаторам зафиксировано наличие двух деформационных событий: более раннее – левостороннее и более позднее – правостороннее.

Ключевые слова: курайский метаморфический комплекс; бластомилонит; кинематический анализ; покровно-складчатая структура; сдвиг

1. ВВЕДЕНИЕ

Курайский блок расположен на юго-востоке Горного Алтая. Его юго-западным ограничением является Курайский разлом, отделяющий метаморфические породы блока от венд-нижнекембрийских вулканогенно-осадочных образований [Gusev, 1992]. С северо-востока блок граничит с ниже- и среднекембрийскими отложениями Башкаусского прогиба. Сложная сдвиго-надвиговая структура Курайского блока, сформированная в результате многостадийной тектонической активности, включает крупные тектонические пластины, чешуйчатые структуры, милонитовые и меланжевые зоны [Gusev, 1992; Buslov et al., 2003, 2013]. Выявление кинематического типа разломов, разделяющих пластины, и установление возраста и этапности деформационно-метаморфических преобразований пород Курайского блока являются важными для понимания тектоники и метаморфизма всего региона.

Значительную часть тектонического блока составляют глубокометаморфизованные породы курайского метаморфического комплекса, представленного гнейсами, гранитогнейсами, мигматитами, кристаллическими сланцами, амфиболитами и пегматитами. Регионально-метаморфические породы курайского комплекса впоследствии претерпели существенные деформационно-метаморфические преобразования в разломных зонах. В результате по породам курайского комплекса сформировались ди-

намометаморфические ассоциации: динамокластиты (брекчии, катаклазиты, бластокатаклазиты) и тектоносланцы (бластомилониты, милониты).

Первоначально породы курайского комплекса в силу высокой степени их метаморфизма были отнесены к раннему докембрию [Obruchev, 1915; Nekhoroshev, 1932; Kuznetsov, 1934; и др.]. В 1952 г. В.А. Кузнецов [Kuznetsov, 1952] опубликовал вывод о том, что сланцы и гнейсы Курайского хребта являются продуктом метаморфизма песчано-сланцевых толщ нижнего палеозоя, и соотнес этот метаморфизм с раннекаледонским этапом тектогенеза. Однако в работе [Rodygin, 1968] курайский комплекс снова рассматривается как наиболее древние породы Горного Алтая и описывается в составе трех свит (тонгулакская, ильдугемская и корумбыайринская).

Последующие исследования на основе использования геохронологических данных показали средне- и позднепалеозойский возраст метаморфизма пород Курайского блока [Buslov et al., 2003, 2013; Buslov, 2011; Kruk et al., 2013; Gusev, Shokalsky, 2010; Kuibida et al., 2014].

По данным работ [Gusev, Shokalsky, 2010; Gusev, 2013] определен возраст метаморфогенных цирконов курайского комплекса U-Pb методом – 443.8 ± 9.5 , 422.9 ± 9.1 и 380.1 ± 7.4 млн лет, что соответствует широкому диапазону его формирования с силура до позднего девона. К этому периоду также относится формирование биотит-роговообман-

ковых гнейсов с возрастом 424.7 ± 4.3 млн лет по амфиболу [Kuibida et al., 2009].

В работах [Buslov et al., 2003, 2013; Kuibida et al., 2009] на основе Ar-Ar и K-Ar датирования слюд и амфиболов установлен возраст метаморфических и деформационных преобразований пород Курайского блока в интервале 425–322 млн лет. В пределах этого интервала в работе [Kuibida et al., 2009] выделены две стадии формирования Курайского тектонического блока с различной кинематикой тектонических движений: первая стадия (с середины ордовика до конца девона) – левосдвиговая, с высокотемпературными деформациями и синкинематическим магматизмом кислого и среднего состава; вторая стадия (раннекарбоновая) – правосдвиговая и сдвиго-сбросовая, с наложенным метаморфизмом умеренных температур и давлений.

С учетом опубликованных геохронологических данных [Buslov et al., 2003, 2013; Kuibida et al., 2009; Gusev, Shokalsky, 2010; Gusev, 2013] можно говорить о том, что возраст формирования курайского метаморфического комплекса отвечает периоду 440–380 млн лет, а возраст динамометаморфических преобразований пород – периоду 360–322 млн лет.

В данной работе приведена петрографическая и структурно-кинематическая характеристика бластомилонитов, развитых по амфибол-биотитовым кристаллическим сланцам и гранитогнейсам в долине р. Курайка.

2. СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Серия проб для петрологических, структурных и геохронологических исследований была отобрана из области развития пород курайского комплекса, претерпевших деформации в зоне влияния Курайско-Телецкого регионального сдвига (рис. 1). Структурно-кинематический анализ ориентированных образцов проводился по стандартной методике [Passchier, Trouw, 2005].

Все изучаемые породы испытали интенсивные динамометаморфические преобразования. В образцах и шлифах наблюдаются порфиробласты и порфирокласты кварца, полевого шпата, реже – других минералов; характерны анизотропные бластопорфиновые и лепидобластовые текстуры, подвороты, растаскивание и фрагментация порфирокластов и линзовидных кварц-полевошпатовых обособлений. Кроме того, наблюдаются структуры сдвигового течения, поэтому все породы описаны в данной работе как бластомилониты.

Пологая ориентировка минеральной линейности, наблюдаемая в большинстве образцов (рис. 1, стереограммы), свидетельствует о преобладании

сдвиговой компоненты при перемещениях по разломам.

Изучение кинематических индикаторов в ориентированных шлифах показало наличие двух кинематических стилей деформаций. В большинстве случаев S-C и S-C' структуры, а также минеральные пакеты свидетельствуют о левосторонней кинематике деформаций в плоскости шлифа (рис. 2, а). Однако в двух шлифах (рис. 2, б, в) зафиксировано появление и доминирование признаков деформаций с правосторонней кинематикой (слюдяные пакеты, кливаж плейчатости и пр.). При этом в одном из них (рис. 2, в) предполагается наложение более поздних правосдвиговых структур на левосдвиговые. В этом шлифе реликты левосдвиговых структур наблюдаются в линзовидных доменах, в которых порфирокласты плагиоклаза с тенями давления, выполненными мелкозернистым кварцевым агрегатом, деформированы по левому знаку. Эти домены на последующем этапе испытали правосдвиговые деформации, что установлено в плоскости шлифа по S-C структурам, деформированию пакетов мусковита, а также по растаскиванию, подвороту и вращению порфиробластов, порфирокластов и минеральных агрегатов кварц-полевошпатового состава.

Результаты микроструктурного и петрографического изучения ориентированных шлифов обобщены и представлены в таблице.

3. ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах Курайского блока метаморфические породы залегают в форме тектонических пластин, разделенных разломными зонами. Движение по этим разломным зонам сопровождалось структурно-вещественными преобразованиями пород и, предположительно, происходило в несколько этапов.

В данной работе на основе структурно-кинематического анализа метаморфических пород выявлено наличие двух кинематических стилей деформаций, которые, вероятно, соответствуют двум метаморфическим событиям.

В работе [Buslov et al., 2003] приведены K-Ar и Ar-Ar датировки для аналогичных метаморфических пород из верховьев р. Курайка. K-Ar методом были получены следующие средне-, позднедевонские значения возраста: по амфиболу из амфиболитов 394 ± 8 , 374 ± 8 , 365 ± 12 млн лет, по биотиту из гнейсов – 374 ± 5 млн лет. По биотитам из слюдяных сланцев получены раннекарбоновые датировки – 322 ± 7 и 327 ± 7 млн лет (K-Ar метод) и 333 ± 6 млн лет (Ar-Ar метод) [Buslov et al., 2003].

Нами Ar-Ar методом датированы крупные лейсты мусковита из плоскостей сланцеватости об-

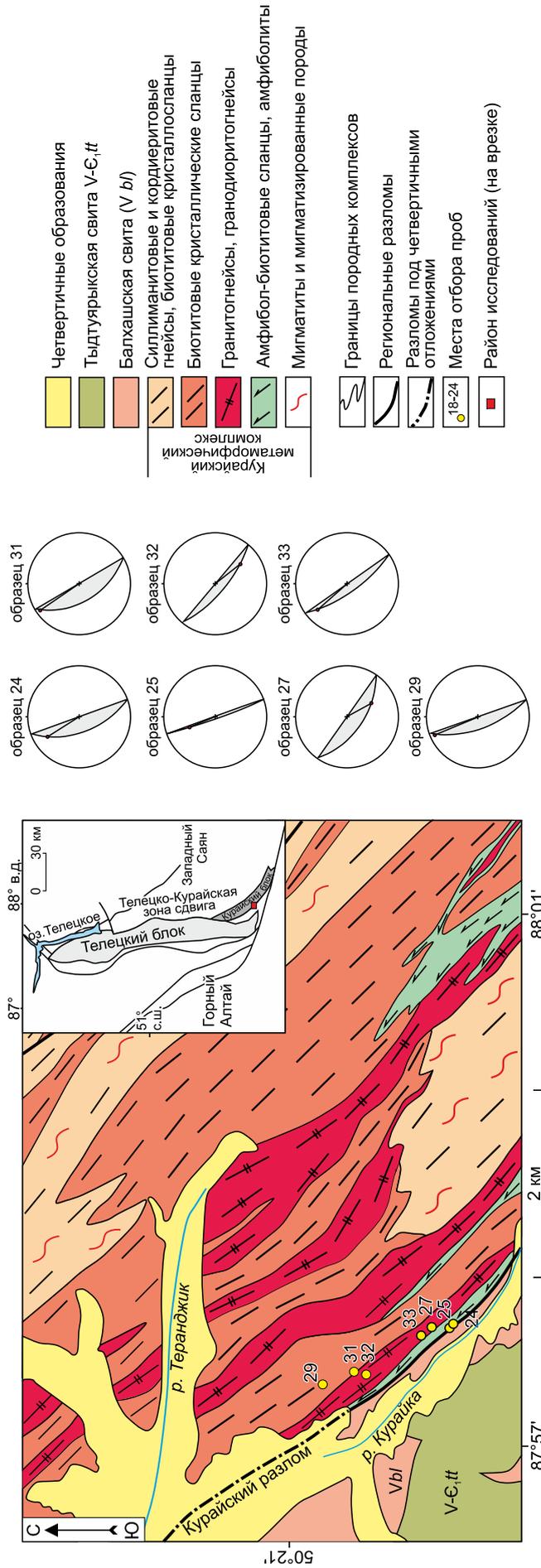


Рис. 1. Схема геологического строения курайского метаморфического комплекса в районе р. Курайка (на основе геологической карты из отчета «Геологическое строение и полезные ископаемые Курайской рудной зоны в Горном Алтае» [Gusev, 1992]). На врезке (приведена по [Kuibida et al., 2014]) – район исследования в пределах этих плоскостей. Пояснения в тексте.

Fig. 1. Schematic geological map of the Kurai metamorphic complex. This map is based on the geological map in the report “Geological structure and minerals of the Kurai ore zone in Gornyy Altai” [Gusev, 1992]. The study area is shown in the inset (after [Kuibida et al., 2014]). The stereographic conformal projections of the lower hemisphere show the orientations of foliation and linear deformation planes. Explanations are in the text.

Петрографическая и кинематическая характеристика бластомилонитов в верховьях р. Курайка

Petrographic and kinematic characteristics of blastomylonites in the upper reaches of the Kuraika river

Номер образца	Бластомилониты по сланцам и гнейсам	Азимут/угол падения сланцеватости	Азимут/угол погружения линейности	Минеральный состав	Кинематические индикаторы	Кинематика деформаций
24	амфибол-гранат-мусковитовый	250/65	326/27	Q, Pl, Ms, Grt, Amf, Turm	SC и SC', Ms-пакеты по краю шлифа	левый взбросо-сдвиг
25	гранат-биотитовый	250/88	338/45	Q, Pl, Grt, Bt, Chl, Kfs, Turm	SC', антитетическое смещение в порфирокластах	левый взбросо-сдвиг
27	биотит-ставролитовый	215/65	152/44	Q, Pl, St, Kfs, Ep, Chl, Bt, слюды мало, Sf	SC'	левый сдвиго-сброс
29	биотит-ставролитовый	250/70	337/9	Q, Pl, Bt, St, Kfs, Chl, Turm, (Zr)	Ms, Q, Pl-пакеты, SC'	правый сдвиг
31	кианит-силлиманит-биотитовый	240/60	325/9	Q, Pl, Bt, Ky, Sill, Kfs, Turm, (Zr), нет Ms	SC, SC'	левый сдвиг
32	мусковитовый	220/75	142/38	Q, Pl, Ms, Kfs (Zr, Ap)	SC, ориентировка зерен	левый сдвиго-сброс
33	мусковитовый	235/76	319/24	Q, Pl, Ms, Kfs, Turm	Левые: наклон Pl, тени давления; правые: Ms-пакеты, SC-структуры, трещины отрыва в Turm	правый сбросо-сдвиг

П р и м е ч а н и е. Принятые сокращения названия минералов: Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит, Ms – мусковит, Chl – хлорит, Kfs – калишпат, Grt – гранат, Amf – амфибол, St – ставролит, Ky – кианит, Sill – силлиманит, Ep – эпидот, Turm – турмалин, Zr – циркон, Ap – апатит, Sf – сфен.

N o t e. Minerals: Q – quartz, Pl – plagioclase, Bt – biotite, Ms – muscovite, Chl – chlorite, Kfs – potassium feldspar, Grt – garnet, Amf – amphibole, St – staurolite, Ky – kyanite, Sill – sillimanite, Ep – epidote, Turm – tourmaline, Zr – zircon, Ap – apatite, Sf – sphene.

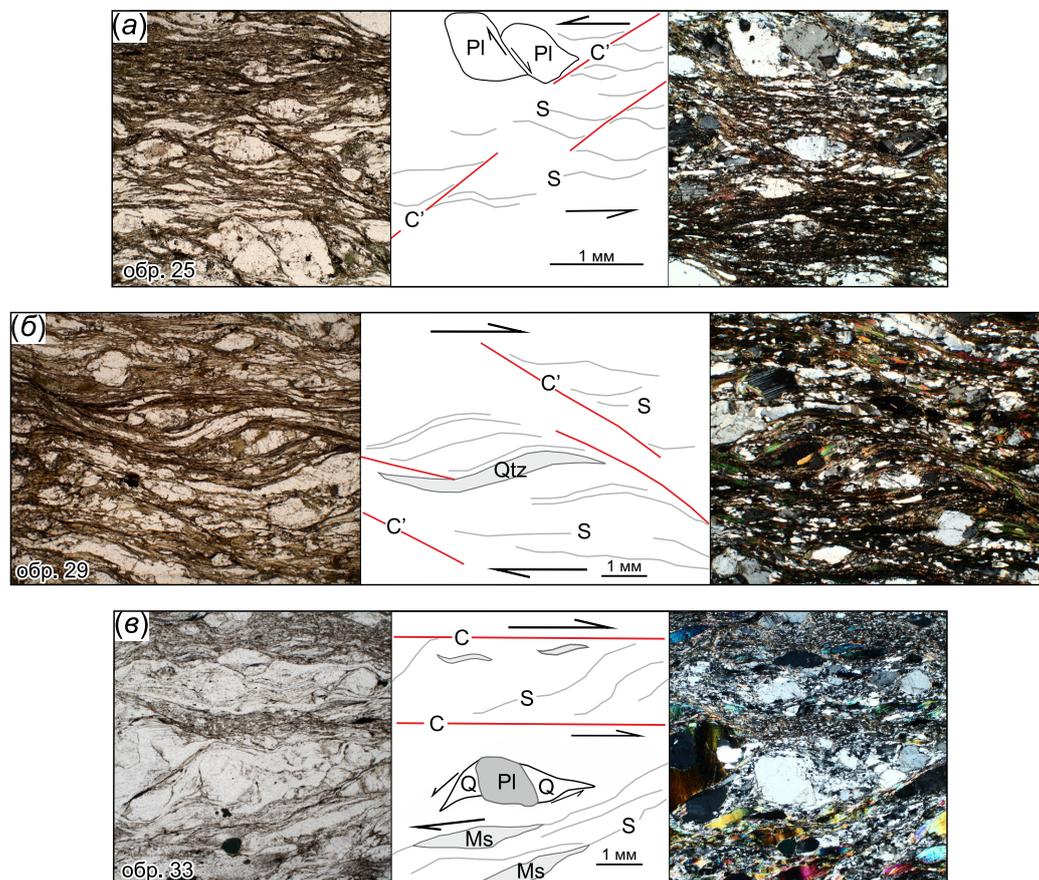


Рис. 2. Характерные кинематические индикаторы деформаций в бластомилонитах по сланцам и гнейсам (верховья р. Курайка): (а) – гранат-биотитовый; (б) – биотит-ставролитовый; (в) – мусковитовый. Для каждого образца слева – изображение в проходящем свете; справа – изображение в скрещенных николях; в середине – результат интерпретации кинематических индикаторов.

Fig. 2. Typical kinematic indicators of deformation in blastomylonites on schists and gneisses (upper reaches of the Kuraika river): (a) – garnet-biotite; (b) – biotite-staurolite; (c) – muscovite. Left (for each sample) – transmitted light image; right – crossed nicols image; middle – interpretation results.

разца № 33 (рис. 2, в). Структурно-кинематический анализ показал, что мусковит формировался в условиях правого сбросо-сдвига (см. рис 1, стереограмма образца № 33). Полученный возраст 344.2 ± 4.9 млн лет согласуется с выделенным ранее [Kuibida et al., 2009] раннекарбонным этапом правосдвиговой и сдвига-сбросовой кинематики.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в пределах Курайского блока для бластомилонитов в верховьях р. Курайка по структурно-кинематическим индикаторам зафиксировано наличие двух деформационных событий: раннее – с левосторонней кинематикой тектонических движений и более позднее – с правосторонней. Геохронологически обоснован возраст правого сбросо-сдвига как раннекарбонный.

Раннекарбонный этап тектонической активизации региона связывается [Buslov, 2011; Buslov et al., 2013] с коллизией Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов, в результате которой был образован Северо-Азиатский континент. Коллизия сопровождалась формированием складчатости, сдвигов и молассы на обширной территории современного Горного Алтая и других районов Алтае-Саянской складчатой области.

5. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят В.Г. Владимирову и Н.В. Попову за консультации на стадии обработки материалов. Исследование выполнено в рамках планов НИР ИГМ СО РАН, при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00411) и правительства РФ (проект № 14.Y26.31.0029).

6. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Buslov M.M., 2011. Tectonics and geodynamics of the Central Asian foldbelt: the role of Late Paleozoic large-amplitude strike-slip faults. *Russian Geology and Geophysics* 52 (1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.12.005>.
- Buslov M.M., Geng H., Travin A.V., Otgonbaatar D., Kulikova A.V., Ming C., Stijn G., Semakov N.N., Rubanova E.S., Abildaeva M.A., Voitishchek E.E., Trofimova D.A., 2013. Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area. *Russian Geology and Geophysics* 54 (10), 1250–1271. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.09.009>.
- Buslov M.M., Watanabe T., Smirnova L.V., Fujiwara I., Iwata K., de Grave J., Semakov N.N., Travin A.V., Kir'yanova A.P., Kokh D.A., 2003. Role of strike-slip faulting in Late Paleozoic – Early Mesozoic tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan and East Kazakhstan regions. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 44 (1–2), 49–75.
- Gusev N.I., 1992. Structural–material formations of the stress type in the Kurai zone of Gorny Altai. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 33 (12), 39–45 (in Russian) [Гусев Н.И. Структурно-вещественные образования стрессового типа в Курайской зоне Горного Алтая // *Геология и геофизика*. 1992. Т. 33. № 12. С. 39–45].
- Gusev N.I., 2013. The Metamorphic Complexes of Gorny Altai. Material Composition And Geochronology. LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, 80 p. (in Russian) [Гусев Н.И. Метаморфические комплексы Горного Алтая. Вещественный состав и геохронология. Saarbrucken: Lambert Academic Publishing, 2013. 80 с.].
- Gusev N.I., Shokalsky S.P., 2010. The age of metamorphic complexes in southeastern Gorny Altai. *Geology and Mineral Resources of Gorny Altai* (3), 72–80 (in Russian) [Гусев Н.И., Шокальский С.П. Возраст метаморфических комплексов юго-востока Горного Алтая // *Геология и минеральные ресурсы Горного Алтая*. 2010. № 3. С. 72–80].
- Kruk N.N., Volkova N.I., Kuibida Ya.V., Gusev N.I., Demonterova E.I., 2013. Nature of metamorphic complexes of the Gorny Altai. *Litosfera (Lithosphere)* (2), 20–44 (in Russian) [Крук Н.Н., Волкова Н.И., Куйбида Я.В., Гусев Н.И., Демонтерова Е.И. Природа метаморфических комплексов Горного Алтая // *Литосфера*. 2013. № 2. С. 20–44].
- Kuibida Ya.V., Kruk N.N., Gusev N.I., Vladimirov V.G., Demonterova E.I., 2014. Geochemistry of metamorphic rocks of the Kurai block (Gorny Altai). *Russian Geology and Geophysics* 55 (4), 411–427. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.03.001>.
- Kuibida Ya.V., Vladimirov V.G., Kruk N.N., Travin A.V., 2009. The main stages of the tectonic evolution of the Kurai block in the Early – Middle Paleozoic (Gorny Altai). In: Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent). Issue 7. IEC SB RAS, Irkutsk, Vol. 1, p. 159–161 (in Russian) [Куйбида Я.В., Владимиров В.Г., Крук Н.Н., Травин А.В. Основные рубежи тектонической эволюции Курайского блока в раннем – среднем палеозое (Горный Алтай) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Вып. 7. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. Т. 1. С. 159–161].
- Kuznetsov V.A., 1934. The Chagan-Uzun mercury deposit in Altai. *Bulletin of the West Siberian Geological and Hydrogeodesic Trust* 5, 26–36 (in Russian) [Кузнецов В.А. Чаган-Узунское ртутное месторождение на Алтае // *Вестник Западно-Сибирского геолого-гидрогеодезического треста*. 1934. Вып. 5. С. 26–36].

- Kuznetsov V.A., 1952. The main stages of the geotectonic evolution of the southern Altai–Sayan mountainous area. *Proceedings of the Mining and Geological Institute of West Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences* 12, 9–43 (in Russian) [Кузнецов В.А. Основные этапы геотектонического развития юга Алтае-Саянской горной области // Труды Горно-геологического института ЗСФАН СССР. 1952. Вып. 12. С. 9–43].
- Nekhoroshev V.P., 1932. Essays on the Geology of Siberia. USSR Academy of Sciences Publishing House, Leningrad, 46 p. (in Russian) [Нехорошев В.П. Очерки по геологии Сибири. Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1932. 46 с.].
- Obruchev V.A., 1915. New data on the tectonics of the Russian Altai. *Geologicheskyy Vestnik (Geological Bulletin)* 1 (4), 203–210 (in Russian) [Обручев В.А. Новые данные о тектонике Русского Алтая // Геологический вестник. 1915. Т. 1. № 4. С. 203–210].
- Passchier C.W., Trouw R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Springer, Würzburg, 366 p.
- Rodygin A.I., 1968. The Precambrian of Gorny Altai (Kuray Metamorphic Complex). Tomsk State University Publishing House, Tomsk, 238 p. (in Russian) [Родыгин А.И. Докембрий Горного Алтая (Курайский метаморфический комплекс). Томск: ТГУ, 1968. 238 с.].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

Марина Анатольевна Абилдаева

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

✉ e-mail: abildaeva@igm.nsc.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2608-683X>

Marina A. Abildaeva

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptyug ave., Novosibirsk 630090, Russia

Kazan (Volga Region) Federal University
18 Kremlyovskaya street, Kazan 420008, Russia

Сергей Валентинович Зиновьев

канд. геол.-мин. наук

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

e-mail: zinoviev@igm.nsc.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9251-6148>

Sergei V. Zinoviev

Candidate of Geology and Mineralogy

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptyug ave., Novosibirsk 630090, Russia

Novosibirsk State University
2 Pirogov street, Novosibirsk 630090, Russia

Михаил Михайлович Буслов

докт. геол.-мин. наук

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия

Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

e-mail: buslov@igm.nsc.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0606-2264>

Mikhail M. Buslov

Doctor of Geology and Mineralogy

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptyug ave., Novosibirsk 630090, Russia

Kazan (Volga Region) Federal University
18 Kremlyovskaya street, Kazan 420008, Russia

Novosibirsk State University
2 Pirogov street, Novosibirsk 630090, Russia