

УДК 551.251:551.24

## **СЕВЕРО-ЕНИСЕЙСКИЙ ОРОГЕН (ЗАПАДНАЯ ОКРАИНА СИБИРСКОГО КРАТОНА): ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ТЕКТОНО-МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДОКЕМБРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

**П. С. Козлов**

*Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН (ул. Академика Вонсовского, 15,  
Екатеринбург, Россия, 620016)*

Впервые в докембрийском складчатом обрамлении на западе Сибирского кратона выделен Северо-Енисейский ороген. На основании комплекса методов, полицикличности и эволюции тектоно-метаморфических и магматических комплексов установлены основные этапы его формирования (на рубежах, млрд лет): 1) гренавилльский (1,18–0,85), 2) деструкции гренавиллид (на западе, 1,18–0,80) и 3) байкальский (вальгальский) орогенез (на востоке, 0,80–0,60).

Ключевые слова: Северо-Енисейский ороген; докембрий; тектоно-метаморфические комплексы

Для цитирования: Козлов П. С. Северо-Енисейский ороген (западная окраина Сибирского кратона): этапы формирования и тектоно-метаморфическая эволюция докембрийских комплексов // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 46–49. doi: 10.17076/geo1651

Финансирование. Работа выполнена за счет средств ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург, АААА-А18-118052590032-6) и Российского научного фонда, проект № 21-77-20018.

## **P. S. Kozlov. NORTH YENISEI OROGEN (WEST SIBERIAN CRATON): GENETIC STAGES AND TECTONO-METAMORPHIC EVOLUTION OF PRECAMBRIAN FORMATIONS**

*A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (15 Acad. Vonsovsky St., 620016 Yekaterinburg, Russia)*

For the first time, the North Yenisei Orogen was identified in the Precambrian folded frame in the west of the Siberian Craton. Based on a set of methods, polycyclicality and evolution of tectonic-metamorphic and magmatic complexes, the main stages of its formation were outlined (at boundaries, Ga): (1) Grenville stage (1.18–0.85), (2) Grenvillid destruction stage (in the west, 1.18–0.80) and (3) Baikal (Valgalian) orogeny (in the east, 0.80–0.60).

Keywords: North Yenisei Orogen; Precambrian; tectonic-metamorphic complexes

For citation: Kozlov P. S. North Yenisei Orogen (West Siberian Craton): genetic stages and tectono-metamorphic evolution of Precambrian formations. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:46–49. doi: 10.17076/geo1651

Funding. The study was funded by the Institute of Geology and Geochemistry UB RAS (Yekaterinburg, AAAA-A18-118052590032-6) and Russian Science Foundation grant # 21-77-20018.

Ключевой проблемой для периода 1,2–0,6 млрд лет назад на западе Сибирского кратона (СК) являются слабоисследованные вопросы реконструкции и фиксирования возрастных рубежей гренвилльской и байкальской орогенических эпох, связанные с глобальными тектоническими событиями. Расхождение взглядов на тектоническую природу Северо-Енисейского кряжа (СЕК) [Верниковский, Верниковская, 2006; Лиханов и др., 2014; Kuz'michev, Sklyarov, 2016 и др.] связано с недоизученностью петрологических индикаторов геодинамических обстановок и изотопного датирования докембрийских магматических и тектоно-метаморфических комплексов (ТМК). Новые данные по составу и эволюции магматических и метаморфических комплексов региона позволяют предложить новую модель.

В строении континентальной коры региона выделены палеоконтинентальный (ПКС) и палеоокеанический сектора. Согласно рифтогенно-коллизивной модели эволюции докембрийских комплексов, в формировании Северо-Енисейского орогена (СЕО) на западе СК выделяется три этапа: 1) гренвилльский (1,18–0,85 млрд лет); 2) деструкции гренвиллид (на западе, 1,18–0,80 млрд лет); 3) байкальский (вальгальский) [Лиханов и др., 2015] (0,80–0,60 млрд лет).

1) Гренвилльский этап (1,18–0,85 млрд лет) коррелируется с временем формирования гипотетического суперконтинента Родиния [Богданова и др., 2009]. Петрологическими и геодинамическими индикаторами становления СЕО на гренвилльском этапе являются полиметаморфические комплексы ПКС (Гаревский, Тейский, Приангарский). Регионально-метаморфизованные породы Анд-Сил типа, Тейский и Гаревский гранитоидные купола с возрастными ~ 1,1 и 0,85 млрд лет [Ножкин, 1999] и неопротерозойские гранитоиды (Тейский, Ахтинский, Татарский и др. комплексы) обнажены в Центральном, Приенисейском и Кулаковском поднятиях (антиклинориях). Становление комплексов сопровождалось региональным Анд-Сил LP/HT метаморфизмом (1,18–0,90 млрд лет) осадочных палеопротерозой-мезопротерозойских толщ [Лиханов и др., 2014 и ссылки в ней]. Постгренвилльский Ки-Сил MP/LT коллизивный (дислокационный) метаморфизм проявился в Ишимбинско-Татарской сдвиговой зоне надвигами западной (0,85 млрд лет) и восточной (0,80 млрд лет) вергентности. Тейский и Гаревский ТМК сформировались в процессе утолщения земной коры. Они отличаются структурно-геологической позицией, геотермическими градиентами, P-T условиями, режимами давления, имеют близкие возрасты проградного полиметаморфизма. Итоговые P-T-t тренды метаморфизма приведены в [Лиханов, 2020].

2) Этап деструкции гренвиллид (на западе, 1,18–0,80 млрд лет) – этап распада Родинии и ранней стадии образования Палеоазиатского океана (ПАО) [Богданова и др., 2009] на рубеже около 1 млрд лет назад [Kuz'michev, Sklyarov, 2016; Ножкин и др., 2021] и его закрытия в эдиакарии. Индикаторы геодинамической обстановки растяжения коры, возможно, связанные с распадом Родинии [Козлов и др., 2020], зафиксированы в Приенисейской сдвиговой зоне ПКС в пределах Гаревского метакомплекса: рапакивиподобные метаграниты (0,87 млрд лет, U-Pb, циркон), бимодальный дайковый пояс (0,80 млрд лет, U-Pb, циркон) [Лиханов и др., 2014], рифтогенная метапикрит-базальтовая ассоциация в основании Ангаро-Большепитского палеобассейна на рубеже мезо-неопротерозоя [Ножкин и др., 2021], свидетельствующие о наложении деформаций и сопутствующего магматизма на поздние гренвиллиды.

Раскрытие ПАО обосновано наличием неопротерозойских метаофиолитов [Верниковский, Верниковская, 2006; Kuz'michev, Sklyarov, 2016 и ссылки в этих работах] островодужных комплексов, позволяющих реконструировать субдукцию восточной вергентности, а также реликтов метаморфизма глаукофановой фации [Лиханов и др., 2019].

3) Байкальский (вальгальский, пики 0,81–0,79 и 0,73–0,71 млрд лет) орогенез (0,80–0,60 млрд лет) в западной части сопровождается коллизией Касско-Туруханского микроконтинента с СК [Козлов и др.,

2020]. Об этом свидетельствует 0,62 млрд лет ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  метод по амфиболу), высокобарический (НР/НТ) метаморфизм (бластомилониты по базитам) и 0,63–0,64 млрд лет НР/ЛТ с реликтами глаукофана [Лиханов и др., 2021]. Субдукция завершается расщеплением океанических комплексов и частичной обдукцией их на СК, образованием орогена окраинно-континентального типа и латеральным наращиванием континентальной коры Сибирского кратона (0,64–0,60 млрд лет) [Лиханов и др., 2014 и ссылки в ней; Козлов и др., 2020; Ножкин и др., 2021]. Столкновение океанического блока с СК 0,63–0,60 млрд лет ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , слюды, амфибол) контролируется зонами фронтальных МР/ЛТ и МР/НТ бластомилонитов – метаморфическими индикаторами зон сжатия и деформаций сдвига СЗ простирания [Лиханов и др., 2021].

В этот период в Восточном блоке СЕК происходило формирование рифтогенных прогибов и грабенов (Уволжский, Чапский и др.) Ангаро-Тисского и Ангаро-Питского синклиналиев, низкотемпературный метаморфизм погружения осадочных толщ тунгусикской и ослянской серий и локальных зон бластомилонитов. Становление Северо-Енисейского орогена завершается около 600 млн лет назад, далее следует платформенный этап развития.

Период геологического развития СЕК в интервале 1,2–0,6 млрд лет назад на западной окраине СК завершается ростом континентальной литосферы и 3-этапным образованием Северо-Енисейского орогена окраинно-континентального типа на неорархей?-палеопротерозойской коре СК. Полученные результаты, по сравнению с другими тектоническими моделями [например, Верниковский, Верниковская, 2006; Kuz'michev, Sklyarov, 2016], свидетельствуют о высокой эндогенной активности западной периферии СК в позднем докембрии [Ножкин, 1999; Лиханов и др., 2014 и др.] и дают новое представление о геологических процессах, сформировавших докембрийскую покровно-складчатую структуру Северо-Енисейского кряжа.

## Литература

Богданова С. В., Писаревский С. А., Ли Ч. Х. Образование и распад Родинии (по результатам МПГК 440) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17, № 3. С. 29–45.

Верниковский В. А., Верниковская А. Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 1. С. 35–52.

Козлов П. С., Филиппов Ю. Ф., Лиханов И. И., Ножкин А. Д. Геодинамическая модель эволюции

Приенисейской палеосубдукционной зоны в неопротерозое (западная окраина Сибирского кратона), Россия // Геотектоника. 2020. Т. 54, № 1. С. 62–78. doi: 10.1134/S0016853X20010063

Лиханов И. И. Метаморфические индикаторы геодинамических обстановок коллизии, растяжения и сдвиговых зон земной коры // Петрология. 2020. Т. 28, № 1. С. 4–22. doi: 10.31857/S0869590320010045

Лиханов И. И., Зиновьев С. В., Козлов П. С. Бластомилонитовые комплексы западной части Енисейского кряжа (Восточная Сибирь, Россия): геологическая позиция, эволюция метаморфизма и геодинамические модели // Геотектоника. 2021. № 1. С. 41–65. doi: 10.31857/S0016853X21010070

Лиханов И. И., Ножкин А. Д., Ревердатто В. В., Козлов П. С. Гренвильские тектонические события и эволюция Енисейского кряжа, западная окраина Сибирского кратона // Геотектоника. 2014. Т. 48, № 5. С. 32–53. doi: 10.7868/S0016853X1405004X

Лиханов И. И., Ножкин А. Д., Савко К. А., Крылов А. А., Зиновьев С. В. Первые петрологические свидетельства субдукции на западной окраине Сибирского кратона // ДАН. 2019. Т. 484, № 2. С. 209–214. doi: 10.31857/S0869-56524842209-214

Лиханов И. И., Ревердатто В. В., Козлов П. С., Зиновьев С. В., Хиллер В. В. Свидетельства вальгальских тектонических событий на западной окраине Сибирского кратона // ДАН. 2015. Т. 462, № 1. С. 73–78. doi: 10.15372/GiG20150601

Ножкин А. Д. Раннепротерозойские окраинно-континентальные комплексы Ангарского складчатого пояса и особенности их металлогении // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 11. С. 1524–1544.

Ножкин А. Д., Козлов П. С., Лиханов И. И., Зиновьев С. В., Крылов А. А. Раннепротерозойская метапикрит-базальтовая ассоциация приангарской части Енисейского кряжа: петрогеохимический состав, обстановки образования и Pb-Zn рудоносность // Геохимия. 2021. Т. 66, № 5. С. 387–406. doi: 10.31857/S001675252105006X

Kuz'michev A. B., Sklyarov E. V. The Precambrian of Transangaria, Yenisey Ridge (Siberia): Neoproterozoic microcontinent, Grenville-age orogeny, or reworked margin of the Siberian craton // J. Asian Earth Sci. 2016. Vol. 115. P. 419–441.

## References

Bogdanova S. V., Pisarevsky S. A., Li Z. X. Assembly and breakup of Rodinia (Some results of IGCP project 440). *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2009;17:259–274. doi: 10.1134/S0869593809030022

Kozlov P. S., Filippov Yu. F., Likhonov I. I., Nozhkin A. D. Geodynamic model of the Neoproterozoic evolution of the Yenisei paleosubduction zone (western margin of the Siberian Craton), Russia. *Geotectonics*. 2020;54(1):54–67. doi: 10.1134/S0016852120010069

Likhonov I. I. Metamorphic indicators for collision, extension and shear zones geodynamic settings of the Earth's crust. *Petrology*. 2020;28(1):1–16. doi: 10.1134/S086959112001004X

Likhanov I. I., Kozlov P. S., Zinoviev S. V. Blastomylonite complexes of the western Yenisei Ridge (Eastern Siberia, Russia): geological position, metamorphic evolution, and geodynamic models. *Geotectonics*. 2021;55(1):36–57. doi: 10.1134/S0016852121010076

Likhanov I. I., Nozhkin A. D., Reverdatto V. V., Kozlov P. S. Grenville tectonic events and evolution of the Yenisei Ridge at the western margin of the Siberian craton. *Geotectonics*. 2014;48(5):371–389. doi: 10.1134/S0016852114050045

Likhanov I. I., Nozhkin A. D., Savko K. A., Krylov A. A., Zinov'ev S. V. First petrological evidence of subduction at the western margin of the Siberian Craton. *Doklady Earth Sciences*. 2019;484(2):209–214. doi: 10.31857/S0869-56524842209-214 (In Russ.)

Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Zinoviev S. V., Khiller V. V. Evidence of the Valhalla tectonic events at the western margin of the Siberian Craton.

*Doklady Earth Sciences*. 2015;462(1):458–462. doi: 10.1134/S1028334X15050062

Nozhkin A. D. Early Proterozoic continent-marginal complexes of the Angara fold belt and their metallogeny. *Russ. Geol. Geophys.* 1999;40(11):1501–1521.

Nozhkin A. D., Kozlov P. S., Likhanov I. I., Zinoviev S. V., Krylov A. A. Early Neoproterozoic metapicrite-basalt association of the Angara region, Yenisei Ridge: petrogeochemical composition, tectonic settings, and Pb-Zn mineralization. *Geochem. Int.* 2021;59(5):455–473. doi: 10.1134/S0016702921050062

Kuz'michev A. B., Sklyarov E. V. The Precambrian of Transangaria, Yenisey Ridge (Siberia): Neoproterozoic microcontinent, Grenville-age orogeny, or reworked margin of the Siberian craton. *J. Asian Earth Sci.* 2016;115:419–441. doi: 10.1016/j.jseaes.2015.10.017

Vernikovskiy V. A., Vernikovskaya A. E. Tectonics and evolution of the granitoid magmatism in the Yenisei Ridge. *Russ. Geol. Geophys.* 2006;47:32–50.

Поступила в редакцию / received: 18.08.2022; принята к публикации / accepted: 31.08.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

##### **Козлов Павел Сергеевич**

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник  
лаборатории региональной геологии и геотектоники

e-mail: kozlov@igg.uran.ru; geoeo2012@yandex.ru

#### **CONTRIBUTOR:**

##### **Kozlov, Pavel**

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher