

УДК 551.251:551.24

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ P-T-t ТРЕНДОВ И ТЕКТОНО-ТЕРМАЛЬНЫХ ПРИЧИН МЕТАМОРФИЗМА В ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ КОЛЛИЗИИ, РАСТЯЖЕНИЯ И СДВИГОВЫХ ЗОН ЗЕМНОЙ КОРЫ**

**И. И. Лиханов**

*Институт геологии и минералогии СО РАН им. В.С. Соболева (пр. Акад. Коптюга, 3, Новосибирск, Россия, 630090)*

Эффективным методом для выяснения тектоно-магматических причин метаморфизма являются реконструкции и анализ P-T-t трендов эволюции пород. Установлены диагностические P-T-t тренды, характерные для пород, сформированных в зонах активного тектогенеза – при растяжении и сжатии земной коры и в сдвиговых зонах. Приведено критическое обсуждение характера таких трендов – по или против часовой стрелки в полициклических комплексах со сложным развитием.

Ключевые слова: P-T-t тренды метаморфизма; тектонические обстановки

Для цитирования: Лиханов И. И. Реконструкция P-T-t трендов и тектоно-термальных причин метаморфизма в геодинамических обстановках коллизии, растяжения и сдвиговых зон земной коры // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 81–84. doi: 10.17076/geo1680

Финансирование. Работа выполнена за счет средств гранта РНФ (проект № 21-77-20018).

### **I. I. Likhanov. RECONSTRUCTION OF P-T-t PATHS AND TECTONOMAGMATIC REASONS OF METAMORPHISM FOR COLLISION, EXTENSION, AND SHEAR ZONE GEODYNAMIC SETTINGS OF THE EARTH'S CRUST**

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (3 Acad. Koptug Ave., 630090 Novosibirsk, Russia)*

An effective method for identifying tectonomagmatic causes of metamorphism is the reconstruction and analysis of P-T-t paths, which can be used to develop a tectonic model of rock evolution over time. Diagnostic P-T-t paths characteristic of rocks formed in zones of active tectogenesis – under collision, extension and in shear zones of the Earth's crust – were identified. This paper discusses some of the ambiguous interpretations of P-T-t paths in areas with simultaneous manifestation of different metamorphic processes.

Keywords: P-T-t paths of metamorphic evolution; tectonic settings

For citation: Likhonov I. I. Reconstruction of P-T-t paths and tectonomagmatic reasons of metamorphism for collision, extension, and shear zone geodynamic settings of the Earth's crust. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:81–84. doi: 10.17076/geo1680

Funding. The study was supported by Russian Science Foundation grant # 21-77-20018.

Реконструкция и анализ P-T-t трендов эволюции пород широко применяются при интерпретации эволюции орогенов с полициклической историей, где разные типы метаморфизма сочетаются между собой в контрастных геодинамических обстановках. В настоящей работе эти вопросы обсуждаются на примере геологических комплексов Енисейского кряжа, в составе которых исследованы проявления регионально-го LP/HT и УНТ гранулитового метаморфизма, коллизионного MP/HT и HP/LT метаморфизма, связанных с надвигами и субдукцией, и стресс-метаморфизма при деформациях пород.

В Заангарье Енисейского кряжа на первом этапе сформировались зональные комплексы низких давлений And-Sil типа гренвильского

возраста при обычном для орогенеза метаморфическом градиенте  $dT/dH = 25\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$  [Likhonov et al., 2019]. На втором этапе эти породы подверглись неопротерозойскому коллизионному метаморфизму умеренных давлений Ky-Sil типа, в результате чего происходило прогрессивное замещение  $\text{And} \rightarrow \text{Ky} \pm \text{Sil}$  [Likhonov, Santosh, 2020]. Формирование более древних пород тейского комплекса происходило в результате надвигов со стороны Сибирского кратона на рубеже 850 млн лет [Likhonov et al., 2004]. Поздний коллизионный метаморфизм пород гаревского комплекса контролировался встречными движениями в ходе аккреционных событий вальгальской складчатости (~800 млн лет) [Likhonov, 2019] (рис. 1, а).

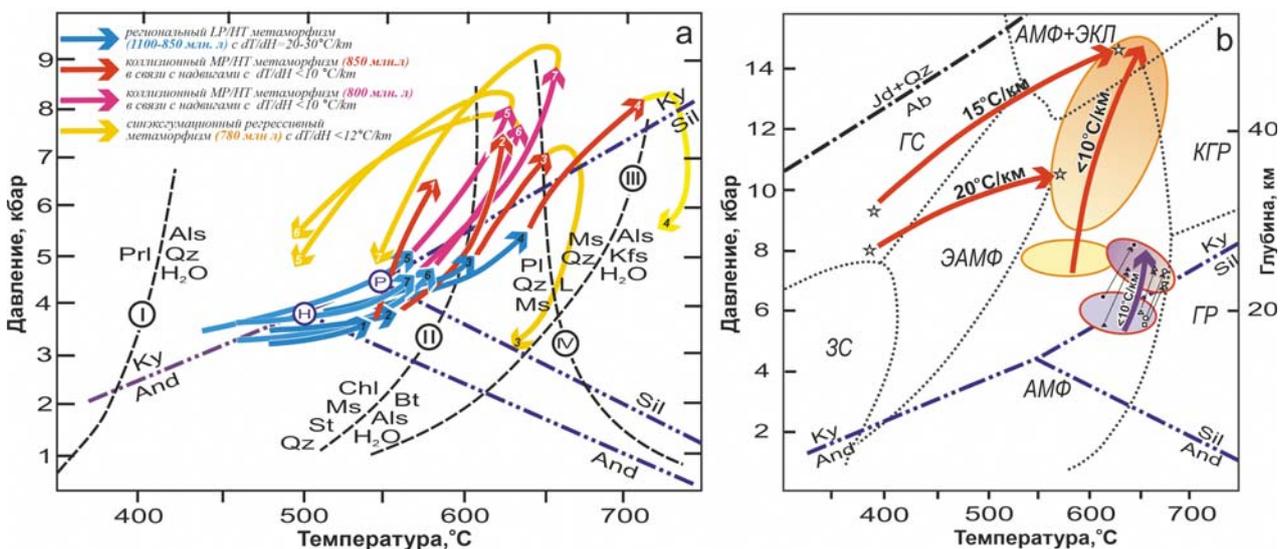


Рис. 1. P-T-t тренды эволюции метаморфизма для метапелитов тейского (1–4) и гаревского (5–7) комплексов Заангарья (а) и для тектонитов ПРСЗ (б)

Fig. 1. P-T-t diagrams showing the generalized P-T path calculations for metapelites in the Teya and Garevka complex (a) and for tectonites of YRSZ (b)

Низкий метаморфический градиент от 7 до 14  $^\circ\text{C}/\text{км}$  обусловлен утолщением земной коры в результате быстрого надвига с последующим быстрым подъемом пород при скоростях процессов около 1–10 мм/год [Likhonov et al., 2015]. Различия в направлении движения регрессив-

ных ветвей, определяющих итоговую траекторию P-T-t трендов, контролируются разными скоростями и механизмами эксгумации: эрозивной денудацией перекрывающих комплексов («по часовой стрелке», CW) или тектонической транспортировкой при растяжении земной коры

(«против часовой стрелки», CCW). Декомпрессионное остывание с низким  $dT/dH \leq 12$  °С/км пород гаревского комплекса могло быть связано с быстрой тектонической эксгумацией при растяжении и утонении коры, обеспечивающей резкий сброс давления не успевающей остыть среды (рис. 1, а), что подтверждается их синхронностью с рифтогенными продуктами бимодального магматизма [Likhanov, Santosh, 2017, 2019]. Комплексы с субизобарическим остыванием образуются в условиях длительного охлаждения на средне-нижнекоровых уровнях глубинности. В качестве примера приведена эволюция Р-Т параметров с ходом «против

часовой стрелки» при высоком градиенте до 200 °С/кбар, указывающая на развитие УНТ парагенезисов Ангаро-Канского блока при сильном, 900–1000 °С, прогреве с последующим субизобарическим остыванием (рис. 2, а). Такие условия отвечают обстановкам внутриплитного растяжения, сопровождаемого андерплейтингом базитовых расплавов в связи с предполагаемой активностью Тимптонского мантийного плюма (~1750 млн лет) [Лиханов и др., 2016]. Рассчитанные значения температур хорошо согласуются с условиями формирования УНТ гранулитов сапфиринасодержащих гранулитов Анабарского щита (рис. 2, b) [Ножкин и др., 2019].

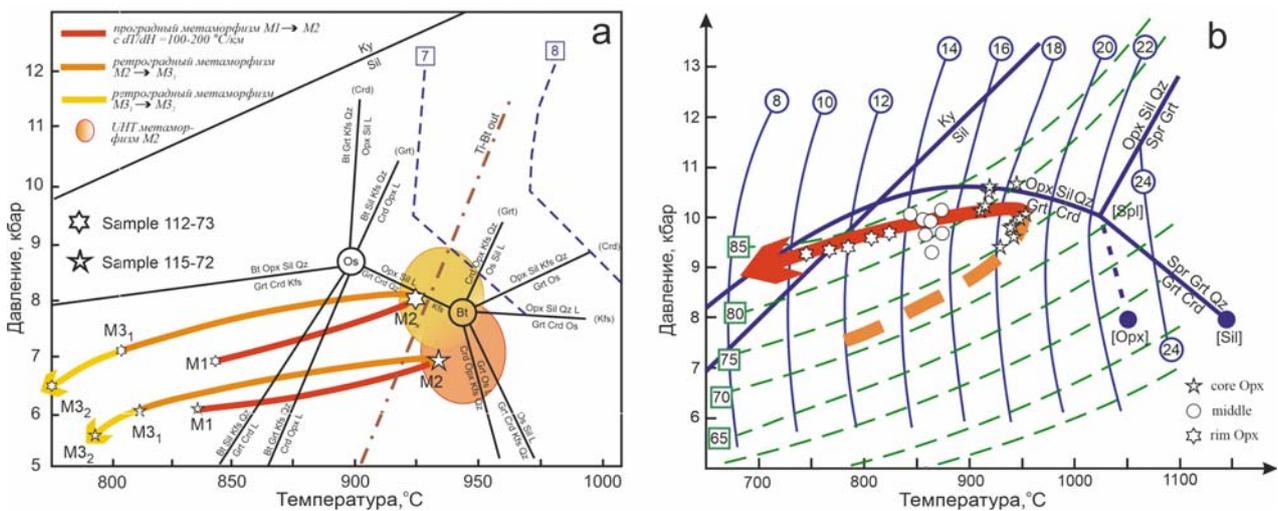


Рис. 2. P-T-t тренды УНТ гранулитов канского комплекса Южно-Енисейского края (а) и Анабарского щита с движением «против часовой стрелки» (b)

Fig. 2. Counterclockwise P-T-t path for UHT granulites of the Angara-Kan block (a) and for sapphirine-bearing granulites of the Anabar Shield (b)

В пределах Приенисейской региональной сдвиговой зоны (ПРСЗ) породы подвергались интенсивным деформациям с перекристаллизацией субстрата и образованием высокобарических тектонитов (рис. 1, b) [Likhanov et al., 2018]. Полихронный динамометаморфизм происходил с повышением давления на 1,5–3 кбар при низком  $dT/dH < 10$  °С/км в сравнении с фоновыми значениями регионального метаморфизма, что, вероятно, было обусловлено утолщением земной коры в результате быстрого надвига/субдукции с последующим быстрым подъемом пород. Максимальные превышения давления на 3–5 кбар и температуры на 180–240 °С при более высоком градиенте  $dT/dH = 15–20$  °С/км установлены в тектонитах базитового состава с релик-

товыми глаукофансланцевыми ассоциациями (рис. 1, b). Такие превышения Р-Т параметров связаны с прогрессивным метаморфизмом, осложненным локальным разогревом пород при вязких деформациях и превышением тектонического давления над литостатическим в зонах пластического сдвига [Лиханов, 2020].

### Литература

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., Ножкин А. Д., Ревердатто В. В., Крылов А. А., Козлов П. С., Хиллер В. В. Метаморфическая эволюция ультравысокотемпературных

железисто-глиноземистых гранулитов Южно-Енисейского кряжа и тектонические следствия // Петрология. 2016. Т. 24, № 4. С. 423–440. doi: 10.7868/S0869590316030055

Ножкин А. Д., Лиханов И. И., Савко К. А., Крылов А. А., Серов П. А. Сапфиринсодержащие гранулиты Анабарского щита // Геохимия. 2019. Т. 64, № 5. С. 486–502. doi: 10.31857/S0016-7525645486-502

Likhanov I. I. Mass-transfer and differential element mobility in metapelites during multistage metamorphism of Yenisei Ridge, Siberia / Metamorphic Geology: Microscale to Mountain Belts // Geol. Society, London, Special Publications. 2019. Vol. 478. P. 89–115. doi: 10.1144/SP478.11

Likhanov I. I., Santosh M. Neoproterozoic intraplate magmatism along the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Rodinia supercontinent // Precambrian Res. 2017. Vol. 300. P. 315–331. doi: 10.1016/j.precamres.2017.08.019

Likhanov I. I., Santosh M. A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia // Precambrian Res. 2019. Vol. 328. P. 128–145. doi: 10.1016/j.precamres.2019.04.018

Likhanov I. I., Santosh M. The “triple point” paradigm of aluminosilicates revisited // Geological Journal. 2020. Vol. 55, no. 6. P. 4772–4789. doi: 10.1002/gj.3716

Likhanov I. I., Polyansky O. P., Reverdatto V. V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia // J. Metamorphic Geol. 2004. Vol. 22. P. 743–762. doi: 10.1111/j.1525-1314.2004.00546.x

Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Khiller V. V., Sukhorukov V. P. P-T-t constraints on polymetamorphic complexes in the Yenisey Ridge, East Siberia: implications for Neoproterozoic paleocontinental reconstructions // J. Asian Earth Sci. 2015. Vol. 113. P. 391–410. doi: 10.1016/j.jseae.2014.10.026

Likhanov I. I., Régnier J.-L., Santosh M. Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: Implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean // Lithos. 2018. Vol. 304–307. P. 468–488. doi: 10.1016/j.lithos.2018.02.021

## References

Likhanov I. I. Metamorphic indicators for collision, extension, and shear zone geodynamic settings

of the Earth's crust. *Petrology*. 2020;28(1):1–16. doi: 10.1134/S086959112001004X

Likhanov I. I., Nozhkin A. D., Reverdatto V. V., Krylov A. A., Kozlov P. S., Khiller V. V. Metamorphic evolution of ultrahigh-temperature Fe- and Al-rich granulites in the South Yenisei Ridge and tectonic implications. *Petrology*. 2016;24(4):392–408. doi: 10.1134/S086959111603005X

Nozhkin A. D., Likhanov I. I., Savko K. A., Krylov A. A., Cerov P. A. Sapphirine-bearing granulites of the Anabar Shield. *Geochemistry International*. 2019;57(5):524–539. doi: 10.1134/S0016702919050070

Likhanov I. I. Mass-transfer and differential element mobility in metapelites during multistage metamorphism of Yenisei Ridge, Siberia. *Metamorphic Geology: Microscale to Mountain Belts*. *Geol. Society, London, Special Publications*. 2019;478:89–115. doi: 10.1144/SP478.11

Likhanov I. I., Santosh M. Neoproterozoic intraplate magmatism along the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Rodinia supercontinent. *Precambrian Res.* 2017;300:315–331. doi: 10.1016/j.precamres.2017.08.019

Likhanov I. I., Santosh M. A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia. *Precambrian Res.* 2019;328:128–145. doi: 10.1016/j.precamres.2019.04.018

Likhanov I. I., Santosh M. The “triple point” paradigm of aluminosilicates revisited. *Geological Journal*. 2020;55(6):4772–4789. doi: 10.1002/gj.3716

Likhanov I. I., Polyansky O. P., Reverdatto V. V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia. *J. Metamorphic Geol.* 2004;22:743–762. doi: 10.1111/j.1525-1314.2004.00546.x

Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Khiller V. V., Sukhorukov V. P. P-T-t constraints on polymetamorphic complexes in the Yenisey Ridge, East Siberia: implications for Neoproterozoic paleocontinental reconstructions. *J. Asian Earth Sci.* 2015;113:391–410. doi: 10.1016/j.jseae.2014.10.026

Likhanov I. I., Régnier J.-L., Santosh M. Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: Implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean. *Lithos*. 2018;304–307:468–488. doi: 10.1016/j.lithos.2018.02.021

Поступила в редакцию / received: 22.08.2022; принята к публикации / accepted: 25.08.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Лиханов Игорь Иванович**

д-р геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник  
лаборатории метаморфизма и метасоматоза

e-mail: likh@igm.nsc.ru

## CONTRIBUTOR:

**Likhanov, Igor**

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Metamorphism  
and Metasomatism Laboratory