

УДК 551.24:551.72

## КОЛЛИЗИОННЫЙ ОРОГЕНЕЗ В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЕ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТЕКТОНИКА ПРИРОДНЫХ ОРОГЕНОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**А. А. Щипанский**

*Геологический институт РАН (Пыжевский пер., 7, Москва, Россия, 109017)*

Детально рассматривается глубинная тектоника палеопротерозойского коллизионного Волго-Донского орогена Восточно-Европейского кратона, реконструкция которого свидетельствует о том, что он представляет собой слабоэродированную орогеническую постройку дивергентной архитектуры. Она сложена преимущественно ювенильными метасадками, фазы ее развития хорошо сопоставляются с историей становления Гималайско-Тибетского коллизионного орогена, но не согласуются с представлениями о «горячем/ультрагорячем» стиле орогенеза в раннем докембрии, базирующимися прежде всего на результатах численного моделирования.

Ключевые слова: ранний докембрий; литосфера; ороген; коровая архитектура; коллизия

Для цитирования: Щипанский А. А. Коллизионный орогенез в палеопротерозое: сравнительная тектоника природных орогенов и результатов численного моделирования // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 160–163. doi: 10.17076/geo1693

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР ГИН РАН АААА-А20-120030690018-2.

### **A. A. Shchipansky. COLLISIONAL OROGENESIS IN THE PALEOPROTEROZOIC ERA: TECTONICS OF NATURAL OROGENS VS. NUMERICAL MODELS**

*Geological Institute, Russian Academy of Sciences (7 Pyzhevsky Per., 109017 Moscow, Russia)*

The paper considers the details of the deep tectonics of the Paleoproterozoic Volga-Don collisional orogen in the East European Craton. Its reconstruction suggests that this fold-and thrust belt represents a slightly eroded divergent orogenic structure building mostly filled with juvenal metasediments and comprises well-preserved patterns of the crustal orogenic architecture which are characteristic of the archetypal Himalayan-Tibetan collisional orogeny, contrary to ideas of hot/ultra-hot Precambrian orogeny based on numerical simulations.

Key words: Early Precambrian; lithosphere; orogen; crustal architecture; collision

For citation: Shchipansky A. A. Collisional orogenesis in the Paleoproterozoic Era: tectonics of natural orogens vs. numerical models. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:160–163. doi: 10.17076/geo1693

Funding. The study was carried out within government-funded research theme of the Geological Institute RAS AAAA-A20-120030690018-2.

Механизм раннедокембрийской орогении остается дискуссионной проблемой. Существуют две точки зрения. Первая находит параллели между современными и древними стилями орогенеза. Вторая основывается на существенных их различиях, обусловленных более высоким тепловым потоком ранней Земли, что может объяснять широкое распространение высокометаморфических пород в раннем докембрии. Однако хорошо известно, что раннедокембрийские кратоны подстилаются мощными, 200–300 км, киями холодной субконтинентальной деплетированной мантии. Роль подобной литосферы в процессах древнего коллизионного орогенеза остается малоизученной. Восточно-Европейский кратон, состоящий из трех главных коровых сегментов – Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии, сшитых между собой палеопротерозойскими орогеническими поясами [Gorbachev, Vogradanova, 1993], предоставляет возможность прояснить механизмы формирования последних с целью ответить на вопрос о том, были ли эти процессы схожими с современными или же они радикально различались. Ключевым объектом для этого исследования стал Волго-Донской ороген (ВДО), впервые выделенный Е. В. Бибиковой с соавторами [2009], который сшивает Сарматский и Волго-Уральский сегменты, подстилаемые архейскими мощными (200–300 км) мантийными киями [Artemieva, 2007]. Выбор этой структуры обусловлен тем, что, во-первых, через этот ороген вкост его простирались были пройдены два сейсмических профиля – трансект ГСЗ «Гранит» [Геотраверс..., 2002] и МОВ-ОГТ вибросейсмический трансект высокого качества 1-ЕВ [Mints et al., 2015]. Это позволяет раскрыть глубинную архитектуру коры и верхней мантии орогена, как и его соотношения с форландовыми областями архейских континентальных блоков – Сарматии и Волго-Уралии. Во-вторых, многочисленные изотопно-геохимические данные, полученные по породам из керна скважин как хинтерленда (ядра) орогена, так его форландовых областей, позволяют выяснить временные ограничения фаз динамики формирования орогена, что необходимо для его

сравнительного анализа с тектонотипом коллизионного современного орогена, коим общепризнанно рассматривается Гималайско-Тибетский ороген (ГТО).

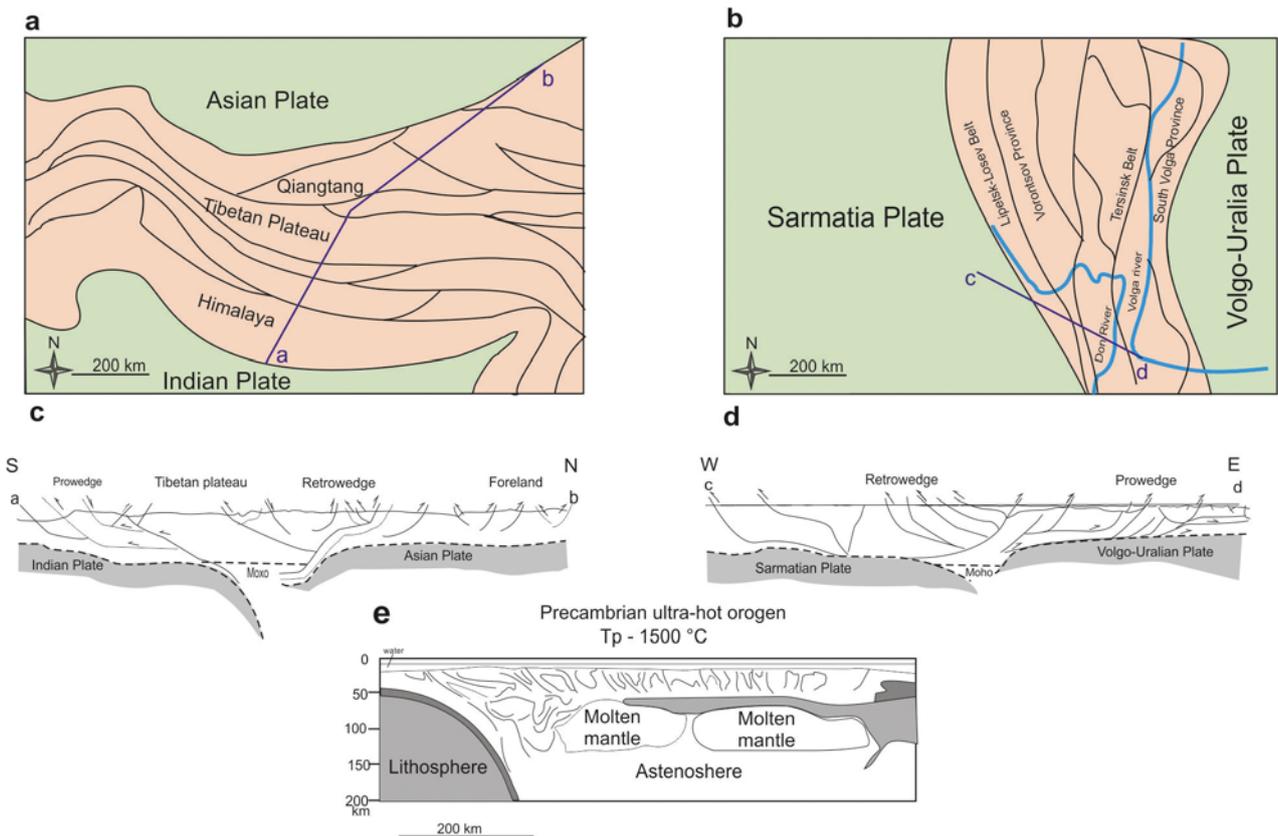
Анализ сейсмических профилей показал: 1) глубинная структура ВДО демонстрирует дивергентную архитектуру его устройства с областью смены вергентности с запада на восток (точкой сингулярности) в районе Терсинского пояса; 2) в этой же области происходит резкая смена границ кора – верхняя мантия, выражающаяся в развитии детачмента в восточной части орогена, что отсутствует в его западной части; 3) границы кора – верхняя мантия в Сарматской и Волго-Уральской части орогена также сильно различаются: в первом случае граница плоская, во втором она ундулирует с длиной волны около 100 км; 4) в районе Терсинского пояса, по данным ГСЗ, появляется линза корово-мантийной смеси, которая на протяжении всего трансрегионального профиля «Гранит» еще выделяется только под Уральским орогеном. В совокупности эти данные указывают на то, что конвергенция Волго-Уральской и Сарматской литосферных плит включала в себя различные геодинамические процессы и была диахронной. Это не может быть объяснено в рамках представлений о каком-либо одном главном триггере, ответственном за горячий/ультрагорячий орогенез в раннем докембрии, обусловленный, например, более горячей мантией ранней Земли [Sizova et al., 2005; Perchuk et al., 2016].

Напротив, имеющиеся данные по глубинной тектонике, результатам изотопно-геохимических исследований и метаморфизма ВДО хорошо описываются в рамках современной теории коллизионного орогенеза, в основе которой лежат данные по ГТО [Jamieson, Beaumont, 2013]. Уникальной для раннего докембрия характеристикой ВДО является его формационное наполнение терригенными, преимущественно ювенильными, палеопротерозойскими метаосадками Воронцовской провинции на западе и Южно-Волжской провинции на востоке. Однако для современных орогенов, включая ГТО, терригенные слаборециклированные осадочные породы являются доминирующей ли-

тологией, а окна высокометаморфизованных пород находятся в резко подчиненном объеме. Как можно видеть на рисунке, по своим размерам ВДО возраста около 2 млрд лет вполне сопоставим с ГТО. Геодинамические фазы развития этих орогенов также обнаруживают значительное сходство. Начало развития ГТО фиксируется в раннем мелу появлением активной континентальной окраины Андийского типа, которая существовала в северной части Тибетского плато. Подобная окраина начала развиваться на восточной окраине Сарматии ~ 2,1 млрд лет назад с накоплением мощного аккреционного клина Воронцовской терригенной провинции, которая известна как Восточно-Сарматский ороген [Щипанский и др., 2007]. Активное вступление в коллизию Индийской плиты произошло в раннем эоцене, и эти процессы, включающие несколько импульсов метаморфизма, продолжаются до настоящего

времени. Начало коллизии Сарматской и Волго-Уральской плит произошло, по-видимому, ~ 2,0 млрд лет назад и закончилось ~ 1,95 млрд лет назад. Таким образом, длительность коллизионных событий в обоих случаях в первом приближении является одинаковой. Это свидетельствует о том, что плейт-тектонические процессы в палеопротерозое, приводящие к коллизионному орогенезу, не сильно отличались от современной геодинамики.

Подобный вывод недавно был сделан на основании сравнительного анализа коллизионного орогенеза в истории Земли, где в качестве референтной модели использовался также ГТО [Weller et al., 2021]. ВДО не входил в этот анализ, но он является объектом, еще более сохранившимся от последующих эрозионных процессов, и, следовательно, может рассматриваться как непосредственный палеопротерозойский аналог ГТО.



Сравнительные характеристики природных орогенов и орогена по результатам численного моделирования: (a, b) – сравнение размеров Гималайско-Тибетского и Волго-Донского орогенов. Как можно видеть, ширина и характер структуры обнаруживают заметное сходство; (c, d) – схематические геологические разрезы Гималайско-Тибетского и Волго-Донского орогенов; (e) – докембрийский ультрагорячий ороген по результатам численного моделирования [Perchuk et al., 2016]

**Natural vs. model orogens:**

(a, b) – a comparison in size and structural patterns between the Himalayan-Tibetan and Volgo-Don orogens. As one can see, both orogens have the same width; (c, d) – schematic geologic cross-sections of the Himalayan-Tibetan and Volgo-Don orogens; (e) – Precambrian ultra-hot orogen by numerical modeling [Perchuk et al., 2016]

## Литература

Бибикова Е. В., Богданова С. В., Постников А. В., Попова Л. П., Кирнозова Т. И., Фугзан М. М., Глушченко В. В. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии: изотопно-геохронологическая характеристика супра-крупных пород и гранитоидов // Стратиграфия и геологическая корреляция. 2009. Т. 17, № 6. С. 3–16.

Геотраверс «Гранит»: Восточно-Европейская платформа – Урал – Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований) / Под ред. С. Н. Кашубина; Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Свердловской области, ФГУП «Баженовская геофизическая экспедиция». Екатеринбург, 2002. 312 с.

Щипанский А. А., Самсонов А. В., Петрова А. Ю., Ларионова Ю. А. Геодинамика восточной части Сарматии в палеопротерозое // Геотектоника. 2007. № 1. С. 43–70.

Artemieva I. M. Dynamic topography of the East European Craton: shedding light upon the lithospheric structure, composition and mantle dynamics // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 58. P. 411–434. doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.02.013

Gorbatshev R., Bogdanova S. Frontiers in the Baltic Shield // *Precambrian Res.* 1993. Vol. 64. P. 3–21. doi: 10.1016/0301-9268(93)90066-B

Jamieson R. A., Beaumont C. On the origin of orogens // *Geol. Soc. Am., Bulletin*. 2013. Vol. 125. P. 1671–1702. doi: 10.1130/B30855.1

Mints M. V., Dokukina K. A., Konilov A. N., Philippova I. B., Zlobin V. L., Babayants P. S., Belousova E. A., Blokh Y. I., Bogina M. M., Bush W. A., Dokukin P. A., Kaulina T. V., Natapov L. M., Piip V. B., Stupak V. M., Suleimanov A. K., Trusov A. A., Van K. V., Zamozhniaya N. G. East European Craton: Early Precambrian history and 3D models of deep crustal structure // *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.* 2015. Vol. 510. 433 p. doi: 10.1130/2015.2510

Perchuk A. L., Safonov O. G., Smit C. A., van Reenen D. D., Zakharov V. S., Gerya T. V. Precambrian ultrahot orogenic factory: Making and reworking of continental crust // *Tectonophysics*. 2016. Vol. 746. P. 572–586. doi: 10.1016/j.tecto.2016.11.041

Sizova E., Gerya T., Brown M. Contrasting styles of Phanerozoic and Precambrian continental collision // *Gondwana Res.* 2014. Vol. 25, iss. 2. P. 522–545. doi: 10.1016/j.gr.2012.12.011

Weller O. M., Mottram C. M., St-Onge M. R., Möller Ch., Strachan R., Rivers T., Copley A. The metamorphic and magmatic record of collisional orogens // *Nature Reviews Earth & Environment*. 2021. Vol. 2. P. 781–799. doi: 10.1038/s43017-021-00218-z

Поступила в редакцию / received: 23.08.2022; принята к публикации / accepted: 01.09.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Щипанский Андрей Анатольевич

д-р геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник,  
руководитель лаборатории тектоники раннего докембрия

e-mail: shchipansky@mail.ru

## References

Artemieva I. M. Dynamic topography of the East European Craton: shedding light upon the lithospheric structure, composition and mantle dynamics. *Global and Planetary Change*. 2007;58:411–434. doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.02.013

Bibikova E. V., Kirnozova T. I., Fugzan M. M., Bogdanova S. V., Postnikov A. V., Popova L. P., Glushchenko V. V. Sarmatia-Volgo-Uralia junction zone: Isotopic-geochronologic characteristic of supracrustal rocks and granitoids. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2009;17(6):561–573. doi: 10.1134/S086959380906001X

Gorbatshev R., Bogdanova S. Frontiers in the Baltic Shield. *Precambrian Res.* 1993;64:3–21. doi: 10.1016/0301-9268(93)90066-B

Jamieson R. A., Beaumont C. On the origin of orogens. *Geol. Soc. Am., Bulletin*. 2013. Vol. 125. P. 1671–1702. doi: 10.1130/B30855.1

Kashubin S. N. (ed.). Geotraverse GRANIT: The east European platform – the Urals – Western Siberia (the structure of crust by results of complex geologic-geophysical researches). Екатеринбург; 2002. 312 p.

Mints M. V., Dokukina K. A., Konilov A. N., Philippova I. B., Zlobin V. L., Babayants P. S., Belousova E. A., Blokh Y. I., Bogina M. M., Bush W. A., Dokukin P. A., Kaulina T. V., Natapov L. M., Piip V. B., Stupak V. M., Suleimanov A. K., Trusov A. A., Van K. V., Zamozhniaya N. G. East European Craton: Early Precambrian history and 3D models of deep crustal structure. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.* 2015;510. 433 p. doi: 10.1130/2015.2510

Perchuk A. L., Safonov O. G., Smit C. A., van Reenen D. D., Zakharov V. S., Gerya T. V. Precambrian ultrahot orogenic factory: Making and reworking of continental crust. *Tectonophysics*. 2016;746:572–586. doi: 10.1016/j.tecto.2016.11.041

Sizova E., Gerya T., Brown M. Contrasting styles of Phanerozoic and Precambrian continental collision. *Gondwana Res.* 2014;25(2):522–545. doi: 10.1016/j.gr.2012.12.011

Shchipansky A. A., Samsonov A. V., Larionova Yu. O., Petrova A. Yu. Geodynamics of the eastern margin of Sarmatia in the Paleoproterozoic. *Geotectonics*. 2007;41(1):38–62. doi: 10.1134/S0016852107010050

Weller O. M., Mottram C. M., St-Onge M. R., Möller Ch., Strachan R., Rivers T., Copley A. The metamorphic and magmatic record of collisional orogens. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2021;2:781–799. doi: 10.1038/s43017-021-00218-z

## CONTRIBUTOR:

Shchipansky, Andrey

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Head of Laborator