

УДК 551.24

DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-3-309-324

Строение зоны сочленения микроконтинентов Сарматия, Волгоуралья и Фенноскандия в составе фундамента Восточно-Европейской платформы

Т. Н. Хераскова, Ю. А. Волож, М. П. Антипов, В. А. Быкадоров, И. С. Пати́на, Р. Б. Сапожников

Геологический институт РАН, 119017, г. Москва, Пыжёвский переулок, 7, стр. 1, e-mail: Kheraskova@ginras.ru

Поступила в редакцию 15.04.2022 г., принята к печати 29.03.2023 г.

Объект исследования. Строение допалеозойских отложений и разновозрастного докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы по геологическим и геофизическим данным. **Метод исследования.** Геологическая интерпретация данных сейсмопрофилирования (трансекты “ЕВ-1”, “Татсейс”, “Магнит”) для изучения современного состояния консолидированной коры, показанных в геофизических полях и отражающих горизонтах. Площадное распространение комплексов пород фундамента по данным бурения. Ставилась задача проследить историю развития территории, геодинамику процессов в целях реконструкции палеоструктуры континента Балтика. **Результаты.** Континент Балтика составляет фундамент современной Восточно-Европейской платформы. После свеконоврежской складчатости около 1000 млн лет назад Балтика вошла в состав суперконтинента Родиния и соединилась с Североамериканской платформой. На восточном крае Балтики возникла пассивная континентальная окраина с рифейско-вендским осадочным чехлом суперконтинента Родиния. Реконструирован Петрозаводско-Хоперский ороген, возникший на месте Карельского (раннепротерозойского) Петрозаводско-Хоперского палеоокеана. Сутура субмеридионального простирания фиксирует закрытие этого палеоокеана. Структура орогена, как и палеоконтинента Балтика, позднее была нарушена и частично разрушена последующими тектоническими процессами. Этот процесс продолжается и в настоящее время современными рифтогенными процессами. **Выводы.** Закрытие Петрозаводско-Хоперского палеоокеана привело к возникновению континента Балтика, в состав которого вошли три микроконтинента: Сарматия, Фенноскандия и Волгоуралья. Во время свеконоврежской орогении Балтика вошла в состав суперконтинента Родиния. Волгоуралья располагалась по границе с Палеопацификом (протоокеаном Земли). Она имела позднерифейский осадочный чехол суперконтинента Родиния. Эта окраина подверглась деструкции при коллизии с тиманидами. Масштаб и протяженность реконструированного Петрозаводско-Хоперского орогена сопоставимы с орогенными поясами позднего протерозоя–палеозоя, такими как кадомиды (ранний венд), каледониды, варисциды и тиманиды (поздний венд–начало кембрия).

Ключевые слова: фундамент Восточно-Европейской платформы, континент Балтика, суперконтинент Родиния, раннепротерозойский ороген, раннепротерозойский океан, разрушение палеоструктур, рифтогенез

Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной темы ГИН РАН

Junction zone structure of the Sarmatia, Volga-Uralia, and Fennoscandia microcontinents as part of the East European Platform basement

Tatiana N. Kheraskova, Yurii A. Volozh, Mikhail P. Antipov, Vitaliy A. Bykadorov, Irina S. Patina, Roman B. Saposhnikov

Geological Institute RAS, 7 Pyzhevsky lane, building 1, Moscow 119017, Russia, e-mail: Kheraskova@ginras.ru

Received 15.04.2022, accepted 29.03.2023

Research subject. The structure of the pre-Paleozoic deposits and different-age Precambrian basement of the East European platform based on geological and geophysical data. **Aim.** To trace the evolution of the area under study and to study the geodynamics of processes in order to reconstruct the paleostructure of the Baltica continent. **Materials and**

Для цитирования: Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Пати́на И.С., Сапожников Р.Б. (2023) Строение зоны сочленения микроконтинентов Сарматия, Волгоуралья и Фенноскандия в составе фундамента Восточно-Европейской платформы. *Литосфера*, 23(3), 309–324. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-3-309-324>

For citation: Kheraskova T.N., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Patina I.S., Saposhnikov R.B. (2023) Junction zone structure of the Sarmatia, Volga-Uralia, and Fennoscandia microcontinents as part of the East European Platform basement. *Lithosphere (Russia)*, 23(3), 309–324. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-3-309-324>

methods. The current state of the consolidated crust was studied using a geological interpretation of seismic profiling data (transects: “EB-1”, “Tatseys”, “Magnit”) and materials of gravity and geomagnetic surveys. The material composition of the basement rock complexes was studied based on drilling data. *Results.* The Baltica continent forms the basement of the modern East European Platform. After the Sveconorwegian folding about 1000 Ma, Baltica had become part of the Rodinia supercontinent and merged with the North American platform. A passive continental margin with the Riphean-Vendian sedimentary cover was formed on the eastern Baltica edge. The Petrozavodsk-Khopersky orogen, which arose in the place of the Karelian (Early Proterozoic) Petrozavodsk-Khopersky paleocean, was reconstructed. The submeridional suture was a result of this paleocean closure. The orogen structure, as well as that of the paleocontinent Baltica, was disturbed and partially destroyed by subsequent tectonic processes, which continue at the present time with modern rifting. *Conclusions.* The closure of the Petrozavodsko-Khopersky paleocean led to the formation of the Baltica continent, which included three microcontinents – Sarmatia, Fennoscandia and Volga-Uralia. Baltica became part of the Rodinia supercontinent during the Sveconorwegian orogeny. Volga-Uralia was located on the border with the PaleoPacific and had a Late Riphean sedimentary cover of the Rodinia supercontinent. This margin underwent destruction during a collision with the Timanides. The scale and extent of the reconstructed Petrozavodsk-Khopersky orogen is comparable to Paleozoic orogenic belts, such as Cadomides, Caledonides, Variscides, or Timanides.

Keywords: *East European Platform Basement, Baltica continent, Rodinia supercontinent, Early Proterozoic orogen, Early Proterozoic ocean, paleostructure destruction, rifting*

Funding information

The work was carried out with the financial support of the state budget theme of the GIN RAS

ВВЕДЕНИЕ

Эта статья посвящена результатам комплексного анализа и обобщения данных о тектоническом строении допалеозойских отложений, а также разновозрастного фундамента Восточно-Европейской платформы и сопредельных территорий по геологическим и геофизическим данным. Мы посвящаем это исследование памяти сотрудников ГИНа Светлане Вениаминовне Богдановой и Михаилу Вениаминовичу Минцу – авторам более ранних моделей континента Балтика, создавших надежную основу для наших новых построений.

Главная задача исследования – показать преобразования и даже частичное разрушение палеоструктур под воздействием более поздних геологических событий на примере реконструкции раннепротерозойского Петрозаводско-Хоперского аккреционного пояса, сформированного около 1800 млн лет назад при формировании континента Балтика в результате коллизии трех микроконтинентов – Сарматии, Волгоуралии и Фенноскандии.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении консолидированной коры в последнее время использовалось два подхода: первый применялся при геологической интерпрета-

ции данных сейсмопрофилирования (трансекты “EB-1”, “Татсейс”, “Магнит”) и для изучения современного состояния консолидированной коры в геофизических полях и отражающих горизонтах. Это позволило уточнить районирование территории, проследить изменения глубины залегания поверхности Моха и строение коры при переходе от структур архейского возраста к палеопротерозойским и кадомским, а также показать тектоническую расслоенность литосферы и выделить в разрезе слои нижней, средней и верхней коры. Выделенные при этом купольные структуры характеризуют форму поверхностей отдельных слоев литосферы. Эти исследования нашли отражение в крупном монографическом обобщении (Минц и др., 2010). М.В. Минц не занимался составом и возрастом верхнего слоя континентальной коры. Он дал очень верные геофизические характеристики для верхнего, среднего и нижнего слоев континентальной коры, а также поверхности Моха.

Второй подход развивался параллельно. Здесь основное внимание уделялось геологическому изучению верхней коры (раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы) – площадному распространению комплексов метатерригенных, метавулканогенных и интрузивных пород, степени и возрасту их метаморфизма. При этом ставилась задача проследить историю разви-

тия территории, геодинамику процессов в целях реконструкции палеоструктуры континента Балтика. С.В. Богданова, будучи сотрудницей ГИНА, первая выделила главные типы структур континента Балтика в 1986 г. Границы основных блоков проведены совершенно правильно. В последнее время на этом пути были также получены интересные результаты рядом исследователей и соавторов С.В. Богдановой (Богданова, 1986; Бибикова и др., 2009, 2016; Щипанский и др., 2007, 2012; Савко и др., 2019; Bogdanova et al., 2008, 2016).

По всей вероятности, оба этих подхода весьма полезны и дополняют друг друга. Задачей предлагаемой работы является попытка использовать результаты этих двух подходов, применяя методы историко-геологического и формационного анализа данных а, используя методы сейсмопрофилирования и сейсморазведки, расшифровать палеоструктуру консолидированной коры рассматриваемого региона и ее геодинамические особенности, а также решить некоторые давно назревшие проблемы геодинамики древних континентов.

Основу геологической интерпретации данных, полученных геофизическими методами, составили данные сейсморазведки МОВ-ОГТ, МОВ-ОСТ (сейсмический глубинный динамический и сейсмозергетический разрезы и характеристика скорости распространения продольных волн по опорным трансектам “1-ЕВ”, “Татсейс”, в меньшей степени “Гранит” (Геологический атлас..., 2002; Трофимов, 2006)).

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наше сообщение отличается от предыдущих исследований тем, что является результатом комплексного анализа и обобщения данных о тектоническом строении допалеозойских отложений и разновозрастного фундамента не только Фенноскандии, Волгоуралии и Сарматии, но и южной части Восточно-Европейской платформы и сопредельной территории – варисийской Западно-Европейской платформы по геологическим и геофизическим данным. Это было необходимо, так как блоки фундамента Восточно-Европейской платформы в современной структуре сохранились не полностью. Ее восточный край граничит с Уральской складчатой областью герцинского возраста. Эта территория начиная с рифея по крайней мере трижды подвергалась существенной деструкции: во время распада Родинии и отделения Балтики от Северной Америки, во время тиманской орогении, когда часть ее территории была субдуцирована и при рифтогенезе во время заложения варисийского Уральского палеоокеана (Херасков, 1967; Пучков, 2003; Руженцев, Самыгин, 2004; Хераскова и др., 2010).

Методом исследования являлся геологический анализ геофизических данных, изучение связи меж-

ду данными поверхностного геокартирования и тематических исследований последних лет с глубинным строением исследуемой территории. Кроме того, крайне важным было учесть то, что сейсмические разрезы фиксируют только современное строение коры и современные особенности тектонической структуры исследуемых объектов (последние этапы их тектонической эволюции) и в меньшей степени несут информацию о более древних этапах развития территории. Поэтому для правильной интерпретации геофизических данных проанализирован возраст разрывных нарушений. Проведенный анализ позволил разделить разломы по возрасту на две группы: протерозойские докадомские и неопротерозойско-кайнозойские.

Новые данные в последние годы получены по Прикаспийскому бассейну. Удалось доказать его остаточную природу от океана, некогда окружавшего суперконтинент Родиния (Хераскова и др., 2020). Совокупность полученных результатов должна способствовать пониманию процессов метаморфизма и консолидации континентальной коры. Это исследование является продолжением серии палеореконструкций древних структур, проведенных нами ранее (Моссаковский и др., 1993; Хераскова и др., 2010; Хераскова и др., 2015; Самыгин, Хераскова, 2019).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Строение Хоперского орогена в зоне сочленения микроконтинентов Сарматия и Волгоуралия

Тип Лосевской островной дуги не очень ясен. Возможно, это была дуга андийского типа, возникшая на краю Сарматского континента. Однако этому противоречит интенсивный метаморфизм пород ее западного фланга (донская серия). Не исключено, что эта область интенсивно метаморфизованных пород фиксирует зону коллизии Сарматского континента и Лосевской островной дуги. Метавулканы островодужного комплекса относятся к известково-щелочной серии. Метатолиты тяготеют к средним и нижним частям островодужного комплекса. Они, как правило, представлены метаморфизованными эффузивами, реже пирокластами базальтового и андезибазальтового состава. Очень характерны для описываемых метабазаальтоидов реликтовые миндалекаменные текстуры пород нормальной щелочности. Среди них отчетливо выделяются толеитовая и известково-щелочная. Метатолиты тяготеют к средним и нижним частям островодужного комплекса. Они, как правило, представлены метаморфизованными эффузивами, реже пирокластами базальтового и андезибазальтового составов. Очень характерны для описываемых метабазаальтоидов реликтовые мин-

далекаменные текстуры (Шатский, 1964; Милуков и др., 2018; Рогожин и др., 2014). Метавулканыты толеитовой и известково-щелочной серий находятся в нормальном переслаивании) (Терентьев, 2005). При этом породы воронежской свиты образуют не-оавтохтон, представленный молассами орогенной впадины. Не исключено также, что постепенное увеличение мощности аккреционного клина, субдуцирующего под Лосевскую островную дугу, привело к поднятию и частичному надвиганию дуги на Сарматский континент. При этом сформировался преддуговой краевой прогиб, заполненный молассами воронежской свиты. В пользу такой точки зрения свидетельствуют протрузии офиолитов в воронежской свите. Скорее всего, эти протрузии представляют собой сохранившиеся фрагменты коры океанического бассейна, некогда отделявшего Лосевскую островную дугу от Волго-уральского континента. Возможно также, что здесь сказалось влияние свеко-норвежской складчатости (1660–1552 млн лет при формировании суперконтинента Родиния).

Состав и возраст пород фундамента и осадочно-го чехла Волгоуралии изучены достаточно детально нашими предшественниками (Bogdanova et al., 2010, 2016). В последнее время получено довольно много данных о возрасте на основании изучения обломочных цирконов. Однако в настоящее время мы слабо представляем направление источников сноса в архейское и раннепротерозойское время, поэтому данными о возрасте обломочных цирконов пока очень трудно воспользоваться. На рис. 2, например, территория Волгоуралии показана без детального расчленения.

Территория Сарматии и Фенноскандии подвергалась существенной переработке при заложении тиманских, каледонских, варисцийских и, особенно, альпийских структур. Так, при раскрытии Атлантического океана часть комплексов восточного края Аппалачей и Ньюфаундленда гондванского и свеко-норвежского происхождения, некогда входившие в состав Родинии, были обдугированы на северо-западную Британскую окраину варисцийской Западно-Европейской платформы, например, тектонический покров, залегающий на каледонидах Норвегии (рис. 1). Другим ярким примером являются крупные сдвиги, возникшие из-за надвигания альпийских фронтов складчатости на герциниды Европы. Наиболее изучен левосторонний сдвиг, известный как линия Торнквиста. В результате его воздействия каледонский ороген, возникший на месте палеоокеана Япетус, был отодвинут к северу по отношению к офиолитовой Саксонско-Тюрингской зоне, представляющей собой фрагмент Рейнского (Рейникум) палеоокеана, который, по общему мнению, некогда являлся несколько более молодым (380–270 млн лет) фрагментом палеоокеана Япетус (Franke, 2006; Kroner, et al., 2007).

Необходимость решения этой проблемы обусловлена тем, что Балтика составляет фундамент современной Восточно-Европейской платформы. После свеко-норвежской складчатости около 1000 млн лет назад Балтика вошла в состав суперконтинента Родиния и соединилась с Североамериканской платформой. При этом на восточном крае Балтики (в современных координатах) возникла пассивная континентальная окраина с рифейско-вендским осадочным чехлом суперконтинента Родиния (Буш, Казьмин, 2008; Хераскова и др., 2010, 2015).

В полосе геотраверса “Гранит” (Геологический атлас..., 2002) кристаллический фундамент Восточно-Европейской платформы залегает в среднем на глубинах от 0 до 1.5–2.0 км, а в районе Днепровско-Донецкого авлакогена глубина его достигает 10–15 км. Мощность и строение земной коры, по материалам глубинных сейсмических зондирований, также неодинаковы в разных частях. В среднем мощности изменяются от 35 до 55 км. Строение консолидированной коры, как правило, неоднородно-блоковое, большинство границ раздела в коре прослеживается не повсеместно. В целом, но не всегда большей мощностью консолидированной коры характеризуются антеклизы и щиты, уменьшенной – глубокие прогибы. Наиболее резкие изменения мощности земной коры отмечаются на Украинском щите, в то время как в пределах Русской плиты строение коры более выдержано.

На профиле хорошо видно, что Хоперский аккреционный ороген представляет собой зону коллизии Сарматского и Волго-Уральского архейских континентальных блоков (рис. 2, 3). Он состоит из серии тектонических пластин, частично субдуцированных под раннепротерозойскую Лосевскую островную дугу. Падение в западном направлении также хорошо видно. Такое строение типично для аккреционных призм островных дуг. В серии этих пластин степень метаморфизма пород уменьшается снизу вверх. Чем выше структурное положение тектонической пластины, тем ниже степень метаморфизма. В результате на территории Хоперского блока породы имеют палеотипный облик.

Терригенные породы воронцовской серии, составляющие большую часть Хоперского орогена, по формационным признакам представляют собой флиш континентального склона пассивной окраины Волго-Уральского микроконтинента (рис. 3). По всей вероятности, в восточной части развиты фации проксимальной части склона, залегающие на архейском фундаменте. Западнее, где в составе тектонических пластин и чешуй появляются метавулканыты, вероятнее всего, развиты флишевые дистальные фации континентального подножия. При этом метавулканыты терсинского (зеленый цвет в полоску) комплекса характеризуют породы дна океанического бассейна, некогда разделявшего Сарматский и Волго-Уральский секторы.

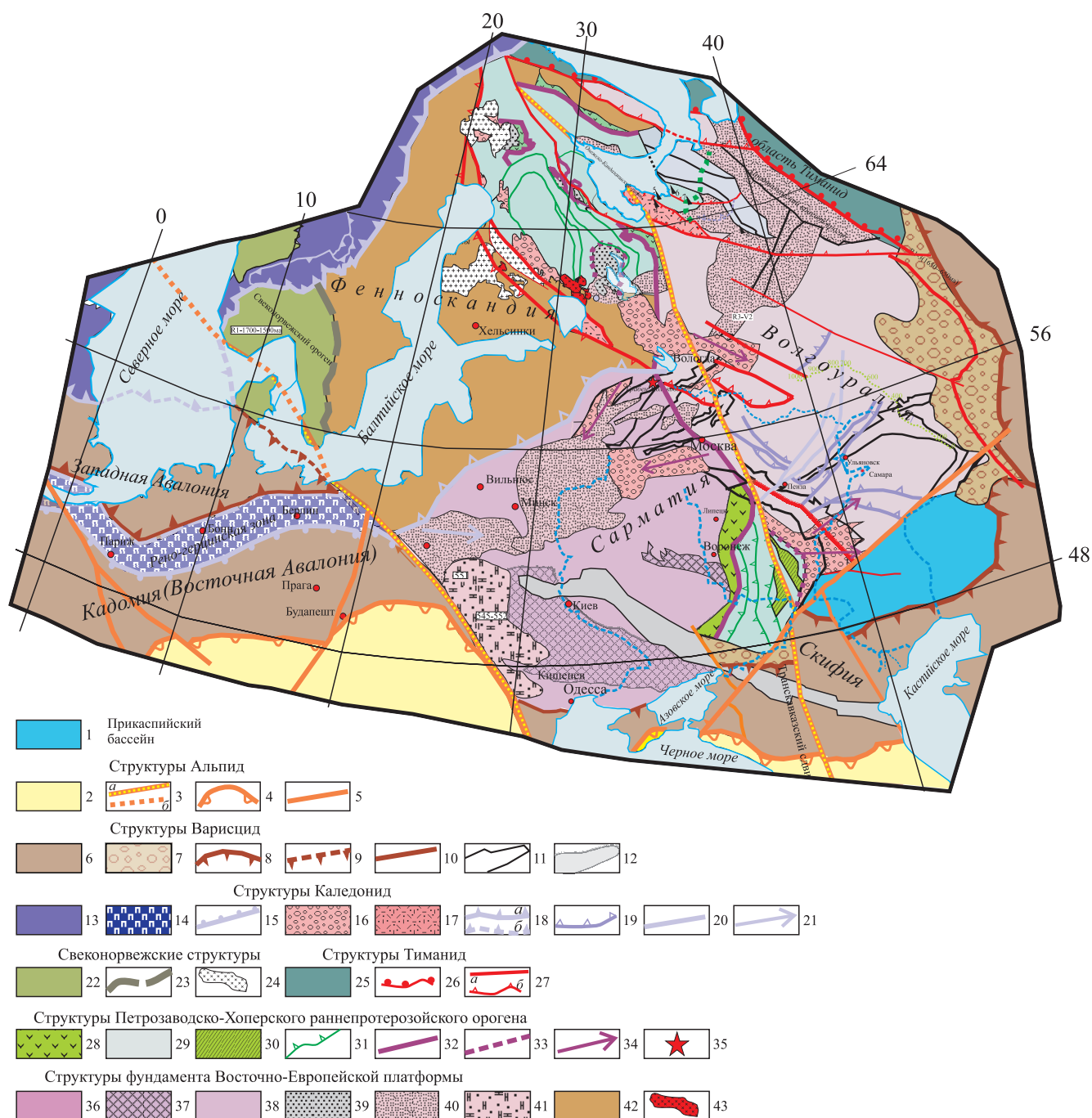


Рис. 1. Схематизированная тектоническая карта древней Восточно-Европейской и эпигерцинской Западно-Европейской платформ. Составлена с использованием данных (Бибикова и др., 2010; Савко и др., 2011; Трофимов, 2006; Хераскова и др., 2020; Щипанский и др., 2007; Bogdanova et al., 2016; Gee, Stephenson, 2006).

1 – Прикаспийский остаточный океанический бассейн. 2–5 – структуры альпийского возраста: 2 – складчатые области; 3 – трансконтинентальные сдвиги и зоны: Транскавказский, Трансевропейский и линия Торнквиста (а), то же на территории моря (б); 4 – фронт складчатости; 5 – разломы. 6–12 – структуры варисцид: 6 – складчатые области; 7 – молассы; 8 – фронт складчатости; 9 – фронт складчатости на территории моря; 10 – разломы; 11 – авлакогены; 12 – Днепровско-Донецкий и Припятский рифты. 13–21 – структуры каледонид: 13 – складчатые области; 14 – Рейнская сутурная зона; 15 – границы Рейнской сутурной зоны; 16 – молассы нижнего-среднего рифея; 17 – вулканогенные молассы нижнего-среднего рифея; 18 – фронт складчатости (а), то же под поверхностью моря; 19 – надвиг Фенноскандии на Сарматии и Волгоуралию; 20, 21 – разломы; 21 – направление сноса обломочного материала. 22–24 – Свеконорвежские структуры: 22 – складчатая область; 23 – фронт складчатости; 24 – граниты рапакиви. 25–27 – структуры тиманид: 25 – складчатая область; 26 – фронт складчатости; 27 – разломы (а), надвиги (б). 28–35 – структуры раннепротерозойского возраста Петрозаводско-Хоперского орогена: 28 – тектонические пластины аккреционной

призмы; 29 – энсиалическая островная дуга; 30 – аккреционная призма; 31 – базальты; 32 – границы аккреционных пластин; 33 – палеосутура; 34 – направление сноса обломочного материала; 35 – точка пересечения Молоковского грабена и Рыбинского сдвига. 36–43 – *архейские микроконтиненты*: 36 – Сарматия; 37 – выходы фундамента платформы на поверхность; 38 – Сарматия; 39 – Волгоуралья, 39 – проточехол людековия; 40 – позднерифейско-вендский палеоплатформенный чехол терригенного состава; 41 – вендский чехол терригенно-карбонатного состава; 42 – Фенноскандия; 43 – гранитоиды.

Fig. 1. Schematic tectonic map of ancient East-European and epihercynian West-European platforms. Compiled using materials: (Бибилова, и др., 2010, Савко и др., 2011, Трофимов, 2006, Хераскова, и др., 2020, Щипанский и др., 2007, Bogdanova, et al., 2016, Gee, Stephenson, 2006).

1 – the Caspian residual oceanic basin; 2–5 – *Alpine structures*: 2 – folded areas; 3 – transcontinental shear and zones: Transcaucasian, Trans-European and Tornquist line (a), the same on the territory of the sea (6); 4 – folding front; 5 – faults; 6–12 – *Variscid structures*: 6 – folded areas; 7 – molasses; 8 – folding front; 9 – folding front on the territory of the sea; 10 – faults; 11 – aulacogenes; 12 – Dnieper-Donetsk and Pripyat rifts; 13–21 – *Caledonian structures*: 13 – folded areas; 14 – Rhenish suture zone; 15 – borders of the Rhenish suture zone; 16 – molasses of the Lower-Middle Riphean; 17 – volcanogenic molasses of the Lower-Middle Riphean; 18 – folding front (a), the same under the surface seas; 19 – Fennoscandia thrust into Sarmatia and Volga-Uralia; 20, 21 – faults: 21 – direction of demolition of detrital material; 22–24 – *Sveconorwegian structures*: 22 – folded area; 23 – folding front; 24 – rapakivi granites; 25–27 – *Timanid structures*: 25 – folded region; 26 – folding front; 27 – faults (a), thrusts (6). 28–35 – *structures of the Early Proterozoic age of the Petrozavodsk-Khopersky orogen*: 28 – tectonic plates of accretion prism; 29 – encialic island arc; 30 – accretion prism; 31 – basalts; 32 – boundaries of accretion plates; 33 – paleosutura; 34 – direction of demolition of detrital material; 35 – intersection point of Molokovsky graben and Rybinsk shift; 36–43 – *Archean microcontinents*: 36 – Sarmatia; 37 – vykhoy the foundation of the platform to the surface; 38 – Sarmatia; 39 – Volga Region, proto-shell of ludekovia; 40 – late-Riphean-Vendian paleoplatform cover of terrigenous composition; 41 – Vendian cover of terrigenous-carbonate composition; 42 – Fennoscandia; 43 – granitoids.

Таким образом, южная часть Хоперского орогена состоит из серии тектонических пластин, частично субдуцированных под раннепротерозойскую островную дугу. Породы этих тектонических пластин обладают палеотипным обликом. Севернее эта структура перекрыта мощным чехлом отложений Московской синеклизы, подвергшихся процессам рифтогенеза в рифее. Так на территории Среднерусского авлакогена в Молоковском грабене, находящемся в полосе трансекта “Гранит”, а также вскрытом бурением, наблюдаются проявления сдвиговых движений по разломам (Рыбинский разлом) и эксплозивного вулканизма (Хераскова и др., 2002; Хераскова, 2005). Таким образом, в Среднерусском авлакогене Хоперский ороген прослеживается только в виде сутуры, возможно, из-за воздействия Свеконорвежской орогении 1660–1552 млн лет при формировании суперконтинента Родиния. Кроме того, удалось протянуть структуры Хоперского орогена далее на север (см. рис. 3) и показать его единство с раннепротерозойским орогенным поясом Карелии и Ветреного пояса, который С.В. Богданова и многие другие исследователи включали в состав Фенноскандии из-за высокой степени метаморфизма пород в его составе (Bogdanova и др., 2010, 2016). При этом до крайности усложняется его структура (рис. 4).

Петрозаводская часть орогена представляет собой антиформу, ядерная часть которой образована метаморфизованными в амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фациях породами возрастом более 2.8 млрд лет. Крылья антиформы сильно сжаты и образованы породами возрастом менее 2.8 млрд лет. Антиформа состоит из тектонических пластин, в строении которых участвуют осадочные и

вулканогенные породы весьма разнообразного состава: океанического дна, представленные метабазальтоидами и ультрабазитами (гальксоидными и серпентинитами), метауглеродистыми породами – шунгитами. Они сочетаются с терригенными и вулканогенно-осадочными породами – графитсодержащими сланцами, кварц-серицитовыми сланцами и кварцитами. Все они близки по возрасту. Такая ассоциация типична для многих океанических бассейнов атлантического типа, в том числе для Каспийского остаточного бассейна (Шатский, 1964б; Хераскова и др., 2020). На рис. 4 хорошо видно, как интенсивно смята палеосутура, как сложно деформированы породы океанической коры, представленные здесь амфиболитами и шунгитами. Разобраться в этой чрезвычайно сложной структуре удалось только с помощью детальной структурной карты, составленной С.Ю. Колодяжным, и данным Ф.П. Митрофанова по Ветранному поясу (Chashchubin, Mitrofanov, 2014), а также благодаря данным А.С. Балужева, Ю.А. Морозова, Е.А. Терехова по-современному рифтогенезу в Белом море. Кроме того, по данным (Государственная геологическая..., 2015) известно, что для этой зоны характерны узкие линейные структуры (лопий и сумий) меридионального простирания. Такие же нижнепротерозойские структуры присутствуют не только на Балтийском щите, но и на Восточно-Европейской платформе. Действительно, такая структура характерна и для рассмотренного выше Хоперского орогена. Только там структура более проста и менее сжата, а тектонические пластины аккреционной призмы имеют наклон в западных румбах, а в северной Петрозаводской части (см. рис. 4) стоят практически на головах.

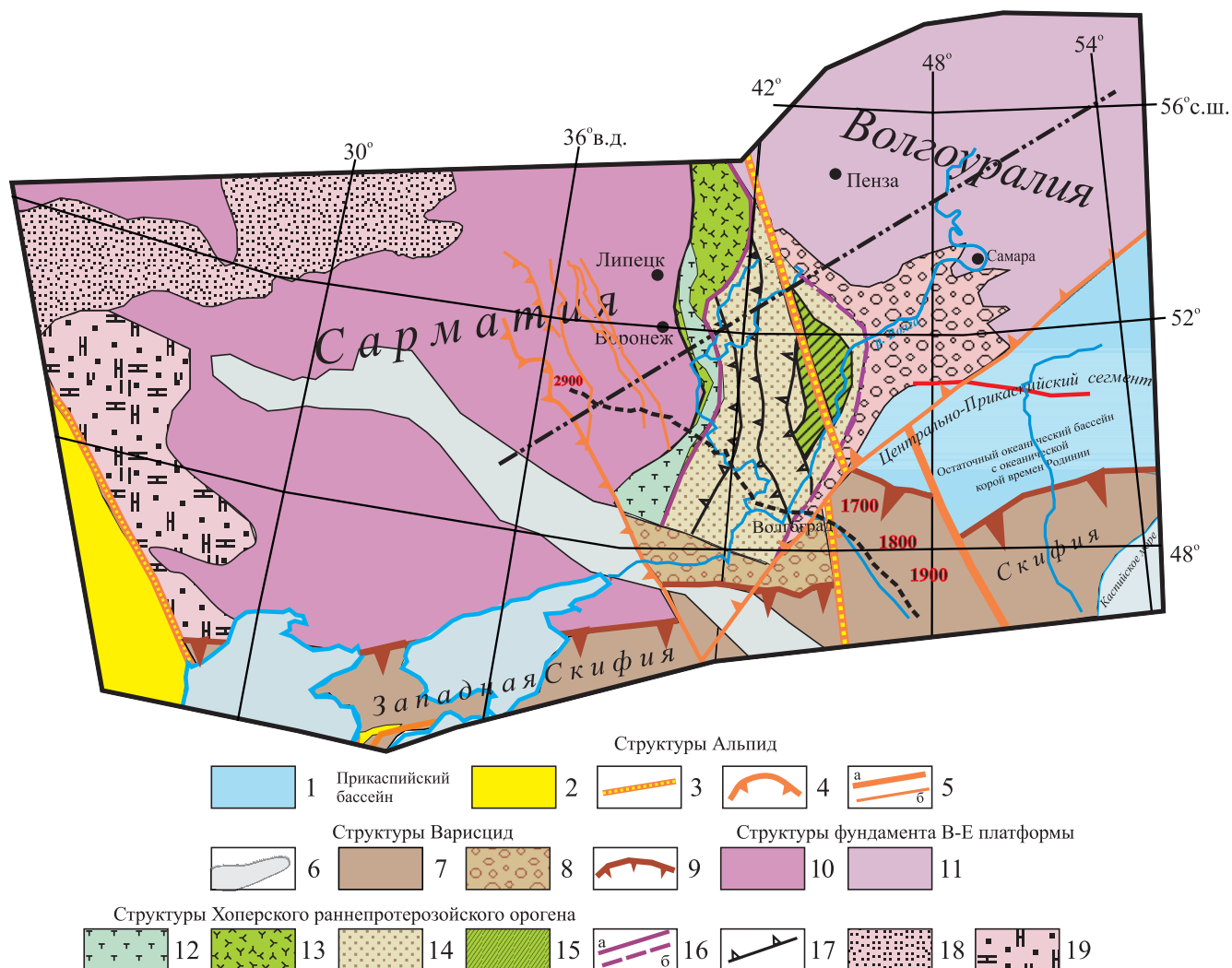


Рис. 2. Строение Хоперского орогена в зоне сочленения микроконтинентов Сарматия и Волгоуралия (с использованием материалов (Шатский, 1964; Милюков и др., 2018; Рогожин и др., 2014)).

1 – Прикаспийский остаточный океанический бассейн позднерипейского возраста. 2–5 – структуры Альпид: 2 – Альпиды; 3 – Транскавказский сдвиг; 4 – надвиги; 5 – прочие разломы крупные (а), мелкие (б). 6–9 – структуры Варисцид: 6 – Днепровско-Донецкий и Припятский авлакогены; 7 – фундамент Скифского микроконтинента; 8 – молассы; 9 – фронт складчатости. 10, 11 – фундамент Восточно-Европейской платформы: 10 – микроконтинент Сарматия; 11 – микроконтинент Волгоуралия. 12–16 – структуры Хоперского раннепротерозойского орогена: 12–13 – островная дуга кадомского возраста: 12 – преимущественно туфы; 13 – толеитовые базальты, андезитобазальты, иногда риолиты; 14 – метатерригенные породы; 15 – реликтовая зона субдукции (а), основание аккреционной призмы (б). 17 – отдельные тектонические пластины аккреционной призмы; 18 – терригенные молассы кадомид; 19 – карбонатно-терригенные молассы кадомид. Черными точками обозначено местоположение сейсмических разрезов: пунктиром – “ЕВ-1”, пунктиром с двумя точками – “Магнит”.

Fig. 2. The structure of the Khopersky orogen in the junction zone of the Sarmatia and Volga-Uralia microcontinents (compiled using materials: Шатский, 1964; Милюков и др., 2018; Рогожин и др., 2014)).

1 – Caspian residual oceanic basin of Late Riphean age. 2–5 – Alpine structures: 2 – Alpine structures; 3 – Transcaucasian shift; 4 – thrusts; 5 – other faults large (a), small (b); 6–9 – Variscian structures: 6 – Dnieper-Donetsk and Pripyat aulacogens; 7 – basement of the Scythian microcontinent; 8 – molasses; 9 – folding front; 10, 11 – basement of the East European Platform: 10 – the Sarmatia microcontinent; 11 – the Volga-Ural microcontinent; 12–16 – structures of the Khopersky Early Proterozoic orogen; 12–13 – island arc of Cadomian age: 12 – mainly tufts; 13 – tholeiitic basalts, andesite-basalts, sometimes rhyolites; 14 – meta-terrigeneous rocks; 15 – relict subduction zone (a), the base of the accretion prism (b); 17 – separate tectonic plates of the accretion prism; 18 – terrigenous molasses Cadomian; 19 – carbonate-terrigeneous molasses of Cadomian age. The black dots indicate the location of the seismic sections: the dotted line is “ЕВ-1”, the dotted line with two dots is “Магнит”.

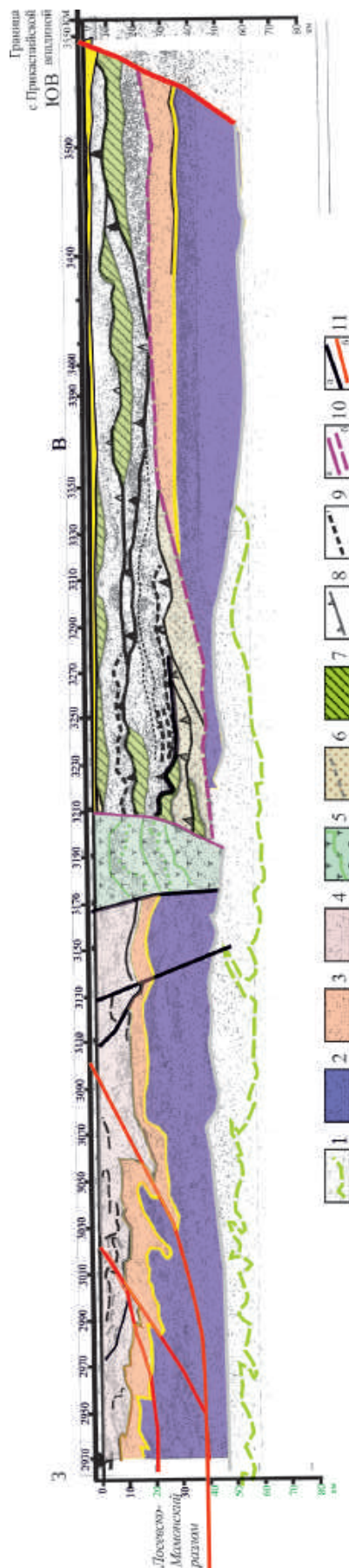


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез EB-1 через Хоперский ороген. Составлен с использованием данных М.В. Минца (2011) и регионального трансекта “Гранит” (Геологический атлас..., 2002). Положение профиля показано на рис. 2.

1 – нижняя кора – гомогенизированный слой относительно акустических характеристик в результате процессов высокотемпературного высокостепенного метаморфизма (гранулитовая фация?) или насыщения лучевыми компонентами мантии; 2 – средняя кора с диффузными верхне- и нижней границами, характеризующаяся умеренно повышенной слоистостью; отражения группируются в прерывистые пакеты, часто беспорядочно ориентированные; слой обладает значительной неоднородностью, что свидетельствует о вероятном существовании отдельных очагов плавления; 3 – верхняя кора; 4 – консолидированная кора (метаморфический фундамент); 5–9 – структуры Хоперского раннепротерозойского орогена: 5 – Лосевская островная дуга, линиями обозначены отражающие горизонты; 6–9 – аккреционная призма Лосевской островной дуги; 6 – терригенные породы аккреционной призм; 7 – базальты океанического типа; 8 – тектонические пластины аккреционной призм; 9 – отдельные отражающие горизонты; 10 – реликтовая зона субдукции (a) – основание аккреционной призм (b); 11 – разломы фундамента (a) альпийского возраста (b).

Fig. 3. Deep seismic section of EB-1 through the Khopersky orogen. Compiled using data from M.V. Mints (2011) and the regional transect “Granite”.

1 – the lower crust is a homogenized layer with respect to acoustic characteristics as a result of processes of high-temperature high-impact metamorphism (granulite facies?) or saturation with volatile components of the mantle; the green dotted line shows the Moho boundary; 2 – the middle crust with diffuse upper and lower boundaries, characterized by moderately increased reflectivity; reflections are grouped into intermittent packets, often randomly oriented; the layer has significant heterogeneity, which indicates the probable existence of separate melting foci; 3 – upper crust; 4 – consolidated crust (metamorphic basement); 5–9 – structures of the Khopersky Early Proterozoic orogen: 5 – Losev island arc, reflecting horizons are indicated by lines; 6–9 – accretion prism of the Losev island arc; 6 – terrigenous rocks of the accretion prism; 7 – oceanic basalts; 8 – tectonic plates of the accretion prism; 9 – separate reflecting horizons; 10 – relict subduction zone (a) – the base of the accretion prism (b); 11 – basement faults (a) of Alpine age (b).

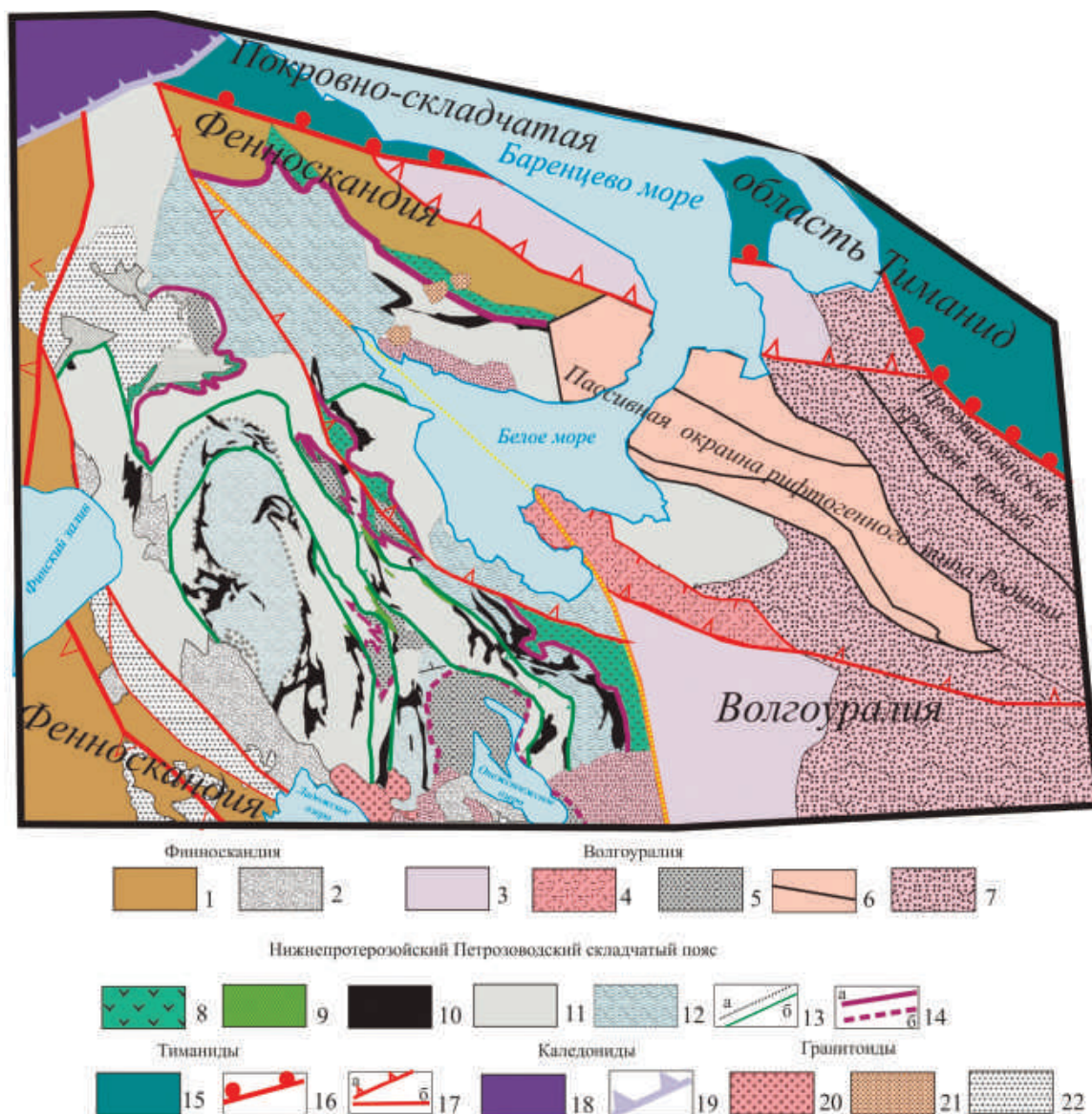


Рис. 4. Строение Петрозаводского орогена. Составлено с использованием материалов А.С. Балуева, С.Ю. Колодяжного, Ф.П. Митрофанова, Ю.А. Морозова, Е.Н. Терехова (Государственная геологическая..., 2015).

1, 2 – Фенноскандия: 1 – Фенноскандия; 2 – молассы вепсия. 3–7 – Волгоуралия: 3 – Волгоуралия; 4 – вулканогенные молассы нижнего-среднего рифея; 5 – проточехол лудековия; 6 – пассивная окраина рифтогенного типа суперконтинента Родиния; 7 – осадочный чехол суперконтинента Родиния. 8–14 – Нижнепротерозойский Петрозаводский складчатый пояс: 8 – островодужный комплекс верхнего лопия – лавы андезибазальтов, туфы, туффиты кислого состава, песчаники, графитсодержащие карбонатные и колчеданосные сланцы, кварциты, конгломераты; 9 – базальты; 10 – породы океанического дна – метабазальтоиды и ультрабазиты (тальксодержащие сланцы и серпентиниты), метауглеродистые породы-шунгиты; 11 – терригенные и вулканогенно-осадочные породы – графитсодержащие сланцы, кварцсерицитовые сланцы и кварциты; 12 – породы с возрастом старше 2.8 млрд лет; 13 – граница между породами старше и моложе 2.8 млрд лет (а), границы тектонических пластин (б); 14 – палеосутура (а), подошва аккреционной призмы (б). 15–17 – тиманиды: 15 – складчатая область тиманид; 16 – фронт складчатости тиманид; 17 – разломы, связанные с движениями в тиманидах надвига (а) взбросы (б). 18, 19 – каледониды: 18 – каледониды; 19 – фронт складчатости каледонид; 20–22 – интрузивные комплексы: 20 – овоидные граниты рапакиви R_1sl (1498 млн лет, бурзяний); 21 – граниты рапакививидные свекофеннского R_1hg возраста; 22 – гранитоиды палеозойского возраста.

Fig. 4. The structure of the Petrozavodsk orogen. Compiled using materials by A.S. Baluyev, S.Y. Kolodyazhny, F.P. Mitrofanov, Yu.A. Morozov, E.N. Terekhov (Gosudarstvennaya geologicheskaya..., 2015).

1, 2 – Fennoscandia: 1 – Fennoscandia; 2 – Vepsia molasses. 3–7 – Volgouralia: 4 – volcanogenic molasses of the Lower-Middle Riphean; 5 – Ludekova proto-cover; 6 – passive margin of the riftogenic type of the supercontinent Rodinia; 7 – sedimentary cover of the supercontinent Rodinia. 8–14 Lower Proterozoic Petrozavodsk folded belt: 8 – island-arc complex of the Up-

per Lopiya – lavas of andesibasalts, tuffs, tuffites of acid composition, sandstones, graphite-containing carbonate and pyrite-bearing shales, quartzites, conglomerates; 9 – basalts; 10 – rocks of the ocean floor – metabasaltoids and ultrabasites (talc-containing shales and serpentinites), metacarbon rocks – shungites; 11 – terrigenous and volcanogenic-sedimentary rocks – graphite-containing shales, quartz-sericite shales and quartzites; 12 – rocks older than 2.8 Ba; 13 – the boundary between rocks older and younger than 2.8 Ba (a), the boundaries of tectonic plates (б); 14 – paleosuture (a), the sole of the accretion prism. 15–17 – Timanids region: 15 – Timanid folding front; 17 – faults associated with movements in the Timanids thrust (a) upwelling (б). 18, 19 – Caledonids: 18 – Caledonids, 19 – caledonid folding front. 20–22 – intrusive complexes; 20 – ovoid granites of rapakivi R₁ 1498 Ma of Burzian; 21 – rapakivi granites of Svekofennian R₁hg age; 22 – granitoids of Paleozoic age.

В Петрозаводской части нижнепротерозойского орогена развита еще одна ассоциация, которую мы относим к островодужному комплексу Фенноскандии. Она относится к верхнему лопию, слабее метаморфизована и представлена лавами, туфами и туффитами кислого состава, песчаниками, графит-содержащими карбонатными и колчеданоносными сланцами, кварцитами, лавами и туфами андезибазальтов и, возможно, коматититами. Иногда появляются конгломераты (впервые описанные Эскола и отнесенные к сариолию, но такие же имеются в сумии). Внешняя граница островодужного комплекса, как и повсюду, является сутурой Петрозаводского орогена.

Разрез вышележащей верхнекарельской эратемы завершает вепсинский надгоризонт – шокшинская свита, развитая на западном побережье Онежского озера. Характерной ее особенностью является кварцевый состав обломочного материала, краснотинность и резкая фациальная изменчивость. Она залегает резко несогласно с размывом на всех отложениях вепсинского надгоризонта. В ее основании развиты мелкогалечные конгломераты со знаками ряби. Все эти признаки свидетельствуют о крайней мелководности обстановки накопления шокшинской свиты (Государственная геологическая..., 2015). Мощность шокшинской свиты превышает 1000 м. В нижней ее части имеется покров гематитизированных сиенитовых габбро-долеритов. Их возраст, датированный U-Pb методом, составляет 1770 ± 12 млн лет (поздний карелий).

Нижнерифейский хогландский горизонт развит в Выборгской структурно-фациальной зоне на о-ве Гогланд (Суурсаари) в Финском заливе. Горизонт залегает на гранитоидных и гранитоидах верхнего карелия со следами размыва. В его составе выделено три пачки. Нижняя пачка представлена конгломератами, гравелитами и крупнозернистыми песчаниками. В ее основании встречены гальки преимущественно кварцитов. Толща имеет ритмичное строение. Каждый ритм завершается слоями металевогранитов. Вышележащая пачка представлена кварц-полевошпатowymi порфирами, имеющими мощность более 3 м. Завершает разрез пачка базальтов. Верхнекарельскую эратему и хогландский горизонт нижнего рифея по формационным признакам мы относим к молассам.

Ранее было сказано (см. рис. 1), что блоки фундамента Восточно-Европейской платформы в совре-

менной структуре сохранились не полностью. Территория Сарматии и Фенноскандии подвергалась существенной переработке при заложении тиманских, каледонских, варисцийских и, особенно, альпийских структур. Так, при раскрытии Атлантического океана, когда часть комплексов восточного края Аппалачей и Ньюфаундленда гондванского и свеконоврежского происхождения, некогда входивших в состав Родинии, были обдуцированы на северо-западную окраину Восточно-Европейской платформы, например тектонический покров, залегающий на каледонидах Норвегии. Для объяснения проблем, связанных с расшифровкой палеоструктуры северной Петрозаводской части нижнепротерозойского орогена, решающим оказался крупный сдвиг, протягивающийся от Кавказа до Белого моря, где периодически проявлялись с девона и по настоящее время рифтогенные процессы. Он неоднократно проявлял себя на Кавказе как в варисцийскую эпоху при закрытии Прикаспийского океанического бассейна, так и в настоящее время (по данным астрономических наблюдений (Милоков и др., 2018; Рогожин и др., 2014), альпийский фронт складчатости Северного Кавказа продвигается в северном направлении со скоростью 3–4 см/год). Именно этот сдвиг обособил Ветреный пояс от северной части орогена. К этому еще добавилось надвигание с северо-запада на юго-восток фронта Тимано-Печорских Тиманид. Интенсивные деформации Петрозаводского орогена и метаморфизм его пород в такой ситуации были неизбежны. Тут все свернулось в один узел. В результате в зоне, прилегающей к Волгоуралии, островодужный комплекс отсутствует. Здесь, как и в южной Хоперской части орогена, Волгоуралия слагает основание аккреционного комплекса. Однако это предположение требовало дополнительного обоснования, так как М.В. Минц предполагал продолжить Петрозаводский ороген в юго-восточном направлении вдоль границы с варисцидами Урала. Мы также считали такой вариант возможным. Камнем преткновения была интерпретация глубинного сейсмического разреза “Татсейс”. Для решения этой проблемы мы использовали два сейсмических разреза: через северный край Мезенской синеклизы и через краевой прогиб уральских варисцид (см. рис. 1).

На рис. 5 отчетливо видно, что Петрозаводский ороген на территории Мезенской синеклизы раз-

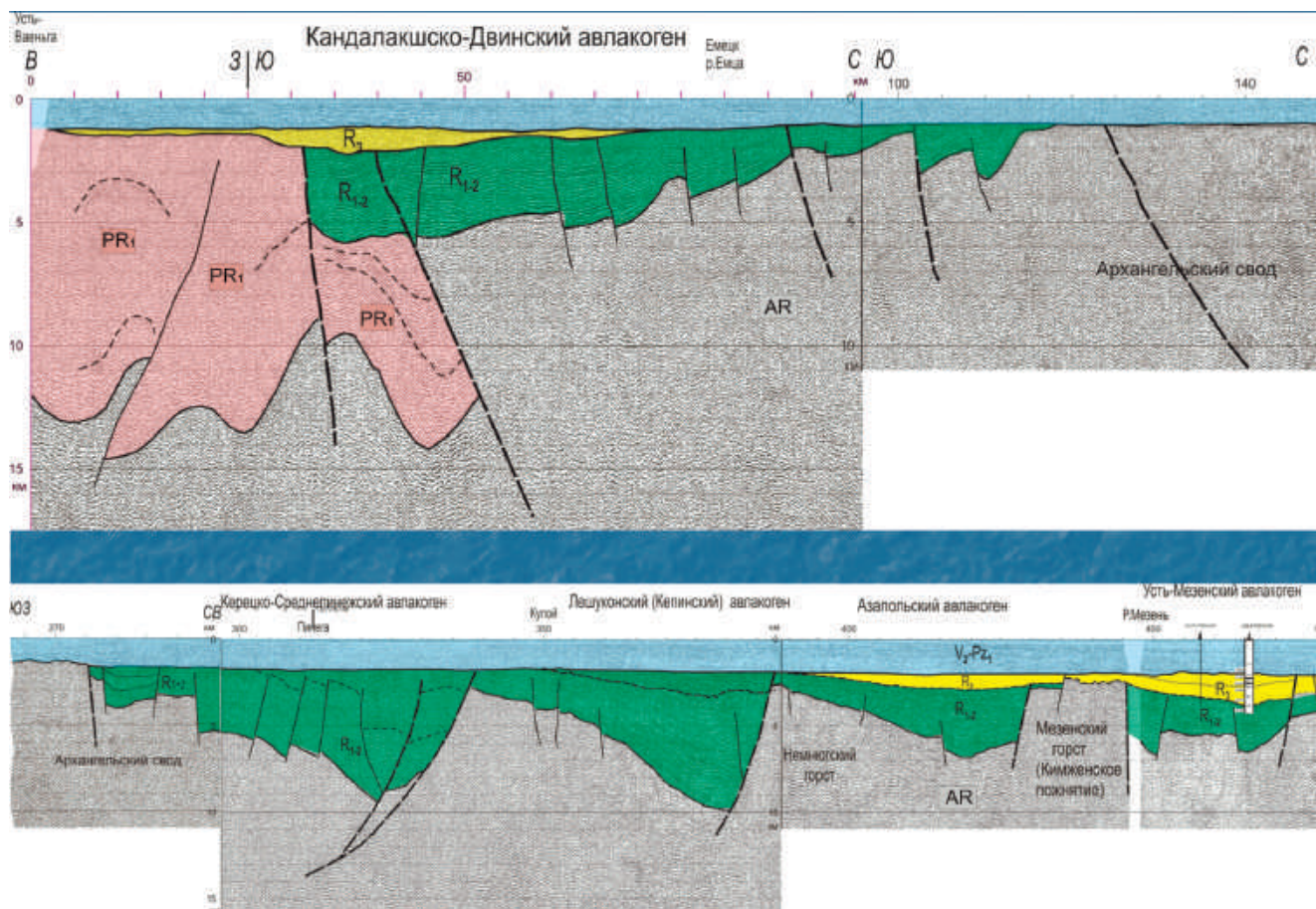


Рис. 5. Сейсмический разрез через Мезенскую синеклизу. Местоположение разреза см. на рис. 1 (зеленые точки).

Fig. 5. Seismic section through the Mezen syncline. The location of the transect is shown in Fig. 1 (green dots).

вит только на Архангельском своде (розовый цвет). А далее по направлению к восточному краю Мезенской синеклизы располагаются рифтогенные структуры континентальной окраины континента Балтика (зеленый цвет), перекрытые RF_3-V осадочным чехлом суперконтинента Родиния (желтый цвет). По данным (Кутинов, Чистова, 2016), эта территория окрестностей Белого моря от рифтовой структуры западного побережья Белого моря до Зимнего берега Мезенской синеклизы северной окраины Восточно-Европейской платформы рассматривается как алмазоносная провинция (Беломорский подвижный пояс, Зимнебережная зона). Это зона развития щелочного магматизма, где известны алмазоносные кимберлиты палеопротерозойского возраста (поздний карелий 1.986 млрд лет), затем позднее событие, синхронное с развитием пассивных окраин Восточно-Европейской платформы в составе суперконтинента Родиния в позднем рифее (Хераскова и др., 2015), а также в девоне (Богатиков и др., 2009) и современные (Тектоника Белого моря..., 2012).

Если это так, то возникает вопрос: где находится продолжение Петрозаводского орогена за пределами Мезенской синеклизы? Для его решения мы привлекли сейсмический разрез, пересекающий Предуральский прогиб и складчатый Урал (сейсмический разрез расположен на широте 56°).

На рис. 6 видно, что под Предуральским краевым прогибом между восточным краем Восточно-Европейской платформы и Уральским орогеном имеется пространство, пока не вскрытое бурением. Возможно, здесь сохранилась часть Петрозаводского орогена, уцелевшая при деструкции этого края Восточно-Европейской платформы при заложении палеозойского Уральского палеоокеана. Рифтогенные процессы раннего протерозоя, происходящие на территории современного Петрозаводско-Хоперского орогена, свидетельствуют о начале раскрытия палеоокеана, некогда отделявшего Сарматия и Фенноскандию от Волгоуралии. При этом микроконтиненты Сарматия и Фенноскандия имели восточные активные континентальные окраины. Волгоуралия вообще не имела

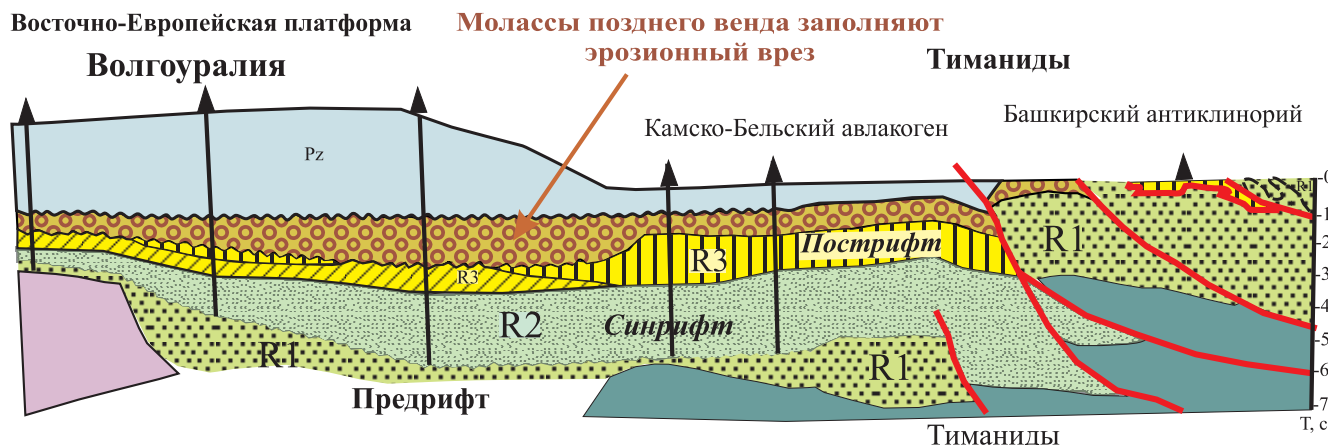


Рис. 6. Сейсмический разрез через Предуральский прогиб на широте 560 с.ш. (составлен с использованием данных В.Н. Пучкова и А.В. Маслова).

Fig. 6. Seismic section through the Pre-Ural trough at latitude 560 c.w. (compiled using data from V.N. Puchkov and A.V. Maslov).

активных окраин. Поэтому во время закрытия Карельского Петрозаводско-Хоперского палеоокеана из-за коллизии с Волгоуралией в раннем протерозое она оказалась в основании аккреционной призмы. В результате возник Петрозаводско-Хоперский ороген. Сutura субмеридионального простирания фиксирует закрытие северной Карельской части раннепротерозойского Петрозаводско-Хоперского палеоокеана.

Структура орогена, как и структура палеоконтинента Балтика, позднее, по крайней мере начиная с девона, неоднократно нарушалась и в настоящее время разрушается рифтогенными процессами, происходящими в Белом и Баренцевом морях (Тектоника Белого моря..., 2012; Балуев и др., 2000). Сложность и нарушенность структуры орогена серьезно затрудняют ее палеорекопструкцию. Это видно по сложной деформированности сутурной зоны в районе Белого моря и Кольского полуострова и объясняет более высокую степень метаморфизма пород орогена в северном сегменте. Параметры реконструированного раннепротерозойского палеоокеана по своим масштабам не уступали каледонским и герцинским. Этот палеоокеан относился к атлантическому типу.

ВЫВОДЫ

1. Микроконтиненты Сарматия и Фенноскандия имели восточные активные континентальные окраины. Волгоуралия вообще не имела активных окраин. Поэтому во время закрытия Карельского Петрозаводско-Хоперского палеоокеана из-за коллизии в раннем протерозое Волгоуралия оказалась в основании аккреционной призмы. В результате

возник Петрозаводско-Хоперский ороген. Сutura субмеридионального простирания фиксирует закрытие Карельского (Раннепротерозойского) Петрозаводско-Хоперского палеоокеана.

2. Структура орогена, как и структура палеоконтинента Балтика, позднее была нарушена и частично разрушена последующими тектоническими подвижками. Этот процесс продолжается и в настоящее время рифтогенезом, происходящим в Белом море. Сложность и нарушенность структуры орогена серьезно затрудняют ее палеорекопструкцию. Это видно по сложной деформированности сутурной зоны в районе Белого моря и Кольского полуострова и объясняет более высокую степень метаморфизма пород орогена в северном сегменте.

3. Контуры и размеры блоков Фенноскандия, Сарматия и Волгоуралия авторами первых моделей С.В. Богдановой и М.В. Минцем были определены совершенно правильно, исходя из тех фактов и методик, которыми они располагали. Для изменения ситуации необходимо было применение новых методик – расширение площади исследования, учет последующих преобразований, особенно влияние альпийских и современных движений, а также применение детального сеймостратиграфического анализа.

4. Закрытие Петрозаводско-Хоперского палеоокеана привело к возникновению континента Балтика и формированию ее восточной пассивной окраины по границе с Палеопацификом. Затем во время свеконорвежской орогении Балтика вошла в состав суперконтинента Родиния. Волгоуралия имеет осадочный чехол суперконтинента Родиния, возникшего в результате свеконорвежской ороге-

нии в конце позднего рифея. Эта окраина подверглась деструкции при коллизии с Тиманидами.

5. Масштаб и протяженность реконструированного нами Петрозаводско-Хоперского орогена сопоставимы с орогенными поясами палеозоя, такими как кадомиды, каледониды, варисциды или тиманиды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балуев А.С., Колодяжный С.Ю., Митрофанов Ф.П., Морозов Ю.А., Терехов Е.Н. (2000) Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 000 000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Лист Р-(35,37). Объяснит. записка. Петрозаводск. ВСЕГЕИ. 321 с.
- Бибикина Е.В., Богданова С.В., Постников А.В., Попова Л.П., Кирилова Т.И., Фугзан М.М., Глушенко В.В. (2010) Зона сочленения Сарматии и Волго-Урاليا: изотопно-геохронологическая характеристика супракрустальных пород и гранитоидов. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 17(6), С. 3-16.
- Бибикина Е.В., Богданова С.В., Постников А.В. и др. (2015) Ранняя кора Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейского кратона: изотопно-геохронологическое изучение терригенного циркона из метасадочных пород большечеремшанской серии и их Sm-Nd модельный возраст. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 23(1), 3-26.
- Богатиков О.А., Ларионова Ю.О., Носова А.А., Самсонов А.В., Шарков Е.В. (2009) Миражения докембрия севера Восточно-Европейской платформы. *Материалы Всерос. конф. г. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН*, 18-22.
- Богданова С.В. (1986) Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М.: Наука, 244 с.
- Буш В.А., Казьмин В.Г. (2008) Кристаллический фундамент и складчатый комплекс Волгоуральского, Прикаспийского и Предкавказского нефтегазоносных бассейнов. *Геотектоника*, (5), 79-94.
- Геологический атлас Западной и Центральной Европы. Геотраверс "ГРАНИТ". (2002) Восточно-Европейская платформа – Урал – Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований). (Под ред. С.Н. Кашубина). Екатеринбург: Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Свердловской области, ФГУГП "Баженовская геофизическая экспедиция", 312 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации, м-б 1 : 1 000 000 (третье поколение), Сер. Балтийская, лист Р-(35),36. Петрозаводск. (2015) СПб.: Изд-во картограф. фаб. ВСЕГЕИ, 321 с.
- Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. (2016) Архангельская алмазоносная провинция на мелкомасштабных геологических, тектонических и геофизических картах. *Электронное научное издание Альманах Пространство и Время*, 11(1) (Система планета Земля). Сетевой адрес: 2227-9490e-arprovr_e-ast11-1.2016.12
- Леонов Ю.Г. Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Хераскова Т.Н. (2010) Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования. *Тр. ГИН РАН*, вып. 593, 63.
- Милоков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Горбатов А.В., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Николаев А.В. (2018) Скорости современных тектонических движений в современном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с тектоникой и глубинным строением земной коры. *Докл. АН*, 481(3), 291-295.
- Минц М.В. (2011). Объемная модель глубинного строения раннедокембрийской коры Восточно-Европейского кратона, палеогеодинамические следствия. *Геотектоника*, (4), 3-29.
- Минц М.В., Сулейманов А.К., Бабаянц П.С., Белоусова Е.А., Блох Ю.И., Богина М.М., Буш В.А., Докукина К.А., Заможняя Н.Г., Злобин В.Л., Каулина Т.В., Конилов А.Н., Михайлов В.О., Натопов Л.М., Пийп В.Б., Ступак В.М., Тихоцкий С.А., Трусков А.А., Филиппова И.Б., Шур Д.Ю. (2010) Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсей: В 2 т. + 1 папка-комплект цветных приложений. М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, Т. 1, 408 с. Т. 2, 400 с.
- Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. (1993) Центральное-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования. *Геотектоника*, (6), 3-32.
- Пучков В.Н. (2003) Уралиты и тиманиды, их структурные связи и место в геологической истории Урало-Монгольского складчатого пояса. *Геология и геофизика*, 44 (1-2), 28-39.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Уфимский НЦ РАН, 279 с.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собищев А.Л., Собищев Л.Е., Горбатов А.В. (2014) Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 256 с.
- Руженцев С.В., Самыгин С.Г. (2004) Структура и тектоническое развитие области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала. *Геотектоника*, (4), 20-44.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Базиков Н.С. (2011) Метатерригенные породы воронцовской серии Воронежского кристаллического массива: геохимия, особенности формирования и источники сноса. *Вестн. ВГУ. Сер. Геология*, (1), 70-94.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ларионов А.Н., Кориш Е.Х., Ковач В.П., Базиков Н.С. (2019) Мезоархейские тоналит-трондьемит-гранодиоритовые ассоциации Восточной Сарматии: возраст и геологическое положение. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 27(5), 4-18.
- Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. (2019) Геологическое строение и этапы тектонической эволюции палеозоид Казахстана. *Литосфера*, 19(3), 347-371.
- Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н., Курчавов А.М. (2015) Тектоническое развитие Казахстана и Тянь-Шаня в неопротерозое и в раннем-среднем палеозое. *Геотектоника*, (3), 66-92.
- Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к "Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий" м-ба

- 1 : 1 500 000. А.С. Балуев, В.А. Журавлев, Е.Н. Терехов, Е.С. Пржиялговский. (Отв. ред. М.Г. Леонов) (2015) М.: ГЕОС, 104 с. Труды ГИН РАН, вып. 597.
- Терентьев Р.А. (2005) Раннепротерозойский палеобассейн Лосевской шовной зоны (Воронежский кристаллический массив). *Литология*, (1), 81-93.
- Трофимов (2006) Глубинные сейсмические исследования МОВ-ОГТ на геотраверсе Татсейс-2003, пересекающем Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию. *Геотектоника*, (4), 3-20.
- Херасков Н.П. (1967) Тектоника и формации. Избранные труды. Академия наук СССР. Геологический институт. М.: Наука, 401 с.
- Хераскова Т.Н. (1986) Венд-кембрийские формации каледонид Азии. М.: Наука, Труды ГИН РАН, (386), 248 с.
- Хераскова Т.Н. (2005) Значение работ Н.С. Шатского по тектонике древних платформ и их нефтегазоносности в свете современных взглядов. *Геотектоника*, (4), 3-34.
- Хераскова Т.Н., Буш В.А., Диденко А.Н., Самыгин С.Г. (2010) Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана. *Геотектоника*, (1), 3-23.
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Постникова И.С. (2020) Особенности строения и развития юго-восточной части Восточно-Европейской платформы и Прикаспийской впадины в позднем докембрии-раннем палеозое. *Геотектоника*, (5), 29-54. <https://doi.org/10.31857/S0016853X20050057>
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Сапожников Р.Б. (2015) Корреляция позднедокембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и смежных палеоокеанических областях. *Геотектоника*, (1), 31-59.
- Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Воронцов А.К., Певзнер Л.А., Сычкин Н.И., (2002) Условия осадконакопления в рифе и раннем венде в центральной части Восточно-Европейской платформы. *Литология и полезн. ископ.*, 2002, (1), 77-92.
- Шатский Н.С. (1964) Избранные труды. Структурные соотношения между платформами и складчатыми геосинклинальными областями. Сравнительная тектоника древних платформ. Ст. 3. М.: Наука. Т. 2, 475-494.
- Шатский Н.С. (1964) Избранные труды. О глубоких дислокациях, охватывающих и платформы и складчатые области (Поволжье и Кавказ). Ст. 4. М.: Наука. Т. 2, 7-12.
- Щипанский А.А., Самсонов А.В., Петрова А.Ю., Ларионова Ю.О. (2007) Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое. *Геотектоника*, (1), 43-70.
- Щипанский А.А., Ходоревская Л.И., Конилов А.Н., Слабунов А.И. (2012) Эклогиты Беломорского пояса (Кольский полуостров). *Геология и геофизика*, 53(1), 3-29.
- Bogdanova S.V., De Waele B., Bibikova E.V., Belousova E.A., Postnikov A.V., Fedotova A.A., Popova L.P. (2010) Volgo-Uralia: the first U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd isotopic evidence of preserved paleoarchean crust. *Amer. J. Sci.*, 310, 1345-1383.
- Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Garetsky R.G. (2016) Europe: East European Craton, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. 17-Oct-16 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10020-X>
- Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Kheraskova T., Kozlov V., Puchkov V., Volozh Yu. (2008) The East European Craton ("Proto-Baltica") in Pre-Rodinian and Rodinian times. *Precamb. Res.*, (1-2), 23-45.
- Chashchubin V.V., Mitrofanov F.P. (2014) The paleoproterozoic Immandravarzuga rifting structure (Kola peninsula). *Geodynam. Tectonophys.*, 5, (1), 231-256. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0126>
- Franke W. (2006) The Variscan orogen in Central Europe: construction and collapse the European lithosphere: an introduction (Eds D.G. Gee, R.A. Stephenson) Geological society mem. No. 32 Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands. Published by The Geological Society London, 323-333.
- Kröner U., Romer R., Linnemann U. (2007) Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian zone – heterogeneous imprint of the Cadomian-Paleozoic Perigondvanian crust. *Linnemann U., Nance R.D., Kraft P. and Zulauf G. (Eds) Evolution of the Rhine Ocean: from the Avalon-Cadomian active margin to the Allegheny-Variscan collision.* Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 423, 153-172.
- Samsonov A.V., Bogdanova S.V., Postnikov A.V., Spiridonov V.A., Larionova Yu.O., Larionov A.N. (2018) Paleoproterozoic Osnitsk-Mikashevichi- Moscow Igneous Belt (OMMB): new geochronology and petrology data for the Russian segment and tectonic implication. *Abstract for the 33rd Nordic Geological Winter Meeting.* Denmark, 54-55.
- Ziegler P.A., Dezes P. (2006) Crustal evolution of Western and Central Europe. The European lithosphere: an introduction. (Ed. D.G. Gee, R.A. Stephenson) Geological Society Mem. No. 32 Vrije Universiteit, Amsterdam Netherlands. Published by The Geological Society London, 12-43.

REFERENCES

- Baluyev A.S., Kolodyazhnyi S.Yu., Mitrofanov F.P., Morozov Yu.A., Terekhov E.N. (2000) State Geological Map of the Russian Federation Scale 1 000 000 (third generation). Baltic Sheet Series R-(35, 37). Petrozavodsk. Explanatory note VSEGEI Publ., 321 p. (In Russ.)
- Bibikova E.V., Bogdanova S.V., Postnikov A.V., Popova L.P., Kirnozova T.I., Fugzan M.M., Glushchenko V.V. (2009) Joint zone of Sarmatia and Volga-Uralia: isotope-geochronological characteristics of supracrustal rocks and granitoids. *Stratigr. Geol. Korrel.*, 17(6), 3-16. (In Russ.)
- Bibikova E.V., Bogdanova S.V., Postnikov A.V. et al. (2015). *Stratigr. Geol. Korrel.*, 23(1), 3-26 (In Russ.)
- Bogatikov O.A., Larionova Yu.O., Nosova A.A., Samsonov A.V., Sharkov E.V. (2009) Structure of the Eastern European Platform Materialy of the all-Russian conference. Petrozavodsk, 18-22 (In Russ.)
- Bogdanova S.V. (1986) Earth crust of Russian plate in Early Precambrian (on the example of Volga-Uralian segment). Moscow, Nauka Publ., 244 p. (In Russ.)
- Bogdanova S.V., De Waele B., Bibikova E.V., Belousova E.A., Postnikov A.V., Fedotova A.A., Popova L.P. (2010) Volgo-Uralia: the first U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd isotopic evidence of preserved paleoarchean crust. *Amer. J. Sci.*, V. 310, 1345-1383.
- Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Garetsky R.G. (2016) Eu-

- rope: East European Craton, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. 17-Oct-16 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10020-X>
- Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Kheraskova T., Kozlov V., Puchkov V., Volozh Yu. (2008) The East European Craton ("Proto-Baltica") in Pre-Rodinian and Rodinian times. *Precambr. Res.*, (1-2), 23-45.
- Bush V.A., Kaz'min V.G. (2008) Crustal foundation and folded complex of Volga-Uralian, Pre-Caspian and Cis-Caucasian oil-gas basins. *Geotektonika*, (5), 79-94. (In Russ.)
- Chashchubin V.V., Mitrofanov F.P. (2014) The paleoproterozoic Imandravarzuga rifting structure (Kola peninsula). *Geodynam. Tectonophys.*, V. 5, Is.1, 231-256. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0126>
- Franke W. (2006). The Variscan orogen in Central Europe: construction and collapse the European lithosphere: an introduction (Eds D.G. Gee, R.A. Stephenson) Geological society mem. No. 32 Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands. Published by The Geological Society London, 323-333.
- Geological Atlas of Western and Central Europe Geotravers "GRANITE": Eastern European Platform – Ural – Western Siberia (the structure of the Earth's crust according to the results of complex geological and geophysical studies) (Ed. S.N. Kashubin). (2002). Ekaterinburg: The Main Department of Natural Resources and Environmental Protection of the MPR of Russia in the Sverdlovsk region, FGUGP "Bazhenov Geophysical Expedition", 312 p. (In Russ.)
- Kheraskov N.P. (1967) Tektonics and formations. Selected works. Academy of Sciences of USSR. Geological Institute. Moscow, Nauka Publ., 401 p. (In Russ.)
- Kheraskova T.N. (1986) Vendian-Cambrian formations of Kaledonides of Asia. *Tr. GIN RAS*, **386**, 248 p. (In Russ.)
- Kheraskova T.N. (2005) Value of N.S. Shatsky works about ancient platform tectonic and their oil-gas bearing in light of modern views. *Geotektonika* (4), 3-34. (In Russ.)
- Kheraskova T.N., Bush V.A., Didenko A.N., Samygin S.G. (2010) Breakup of Rodinia and Early Stages of Evolution of the Paleoasian Ocean *Geotektonika*, **44**, (1), 5-28. (In Russ.)
- Kheraskova T.N., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Postnikova I.S. (2020) Features of the Structure and Development of the Southeastern Part of the East European Platform and the Caspian Basin in the Late Precambrian–Early Paleozoic. *Geotektonika*, (5), 29-54. (In Russ.)
- Kheraskova T.N., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Sapozhnikov R.B. (2015) Correlation of Late Precambrian and Paleozoic Events in the East-European Platform and the Adjacent Paleooceanic Domains. *Geotektonika*, (1), 31-59. (In Russ.)
- Kröner U., Romer R., Linnemann U. (2007) Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian zone – heterogeneous imprint of the Cadomian-Paleozoic Perigondvanian crust. *Linnemann U., Nance R.D., Kraft P. and Zulauf G. (Eds) Evolution of the Rhine Ocean: from the Avalon-Cadomian active margin to the Allegheny-Variscan collision*. Geological Society of America Spec. Pap. **423**, 153-172.
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. (2016) Arkhangelsk diamond-bearing province on small-scale geological, tectonic and geophysical maps. *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time*, 11(1) (The Earth Planet System). Web. <2227-9490e-aprov_r_e-ast11-1.2016.12>. (In Russ.)
- Leonov Yu.G., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Kheraskova T.N. (2010) Consolidated crust of the Caspian region: experience of zoning. *Tr. GIN RAN*. Iss. 593. 63. (In Russ.)
- Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbatiykov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev H.M., Nikolaev A.V. (2018) The velocities of modern tectonic movements in the modern sector of BOLSHOI KAVKAZ according to GPS observations and their relationship with tectonics and the deep structure of the Earth's crust. *Dokl. Akad. nauk*. **481**(3), 291-295. (In Russ.)
- Mints M.V. (2011) Volume model of the deep structure of the Early Precambrian crust of the East European craton, paleogeodynamic consequences. *Geotectonics*, (4), 3-29.
- Mints M.V., Suleimanov A.K., Babayants P.S., Belousova E.A., Blokh Yu.I., Bogina M.M., Bush W.A., Dokukina K.A., Zamozhniaya N.G., Zlobin V.L., Kaulina T.V., Konilov A.N., Mikhailov V.O., Natapov L.M., Piip V.B., Stupak V.M., Tihotskii S.A., Trusov A.A., Philippova I.B., Shur D.Yu. (2010) Deep crustal structure, evolution and mineral deposits of the Early Precambrian basement of the East European Craton: interpretation of the data along the 1-EU Geotraverse, the 4B and TATSEIS Profiles. Moscow, GEOKART, GEOS. Vol. 1, 408 p., Vol. 2, 400 p. and Case with Supplements. (In Russ.)
- Mossakovsky A.A., Ruzhentsev S.V., Samygin S.G., Kheraskova T.N. (1993) Central Asian folded belt: geodynamic evolution and formation history. *Geotectonics*, (6), 3-32.
- Puchkov V.N. (2003) Uralids and Timanids, their structural connections and place in the geological history of the Ural-Mongolian folded belt. *Geol. Geofiz.*, **44**(1-2), 28-39. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (2010) Geology of the Urals and the Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, Ufa SRC of RAS, 279 p. (In Russ.)
- Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatiykov A.V. (2014) Endogenous dangers of the Greater Caucasus, Moscow, IFZ RAN, 256 p. (In Russ.)
- Ruzhentsev S.V., Samygin S.G. (2004) Structure and tectonic development of the area of the East European Platform and the Southern Urals junction. *Geotektonika*, (4), 20-44. (In Russ.)
- Samsonov A.V., Bogdanova S.V., Postnikov A.V., Spiridonov V.A., Larionova Yu.O., Larionov A.N. (2018) Paleoproterozoic Osnitsk-Mikashevichi- Moscow Igneous Belt (OMMB): new geochronology and petrology data for the Russian segment and tectonic implication. *Abstract for the 33rd Nordic Geological Winter Meeting*. Denmark, 54-55.
- Samygin S.G., Kheraskova T.N. (2019) Geological structure and stages of tectonic evolution of the paleozoic of Kazakhstan. *Lithosphere (Russia)*, **19**(3), 347-371. (In Russ.)
- Samygin S.G., Kheraskova T.N., Kurchavov A.M. (2015) Tectonic Evolution of Kazakhstan and Tien Shan in Neoproterozoic and Early-Middle Paleozoic. *Geotektonika*, (3), 66-92. (In Russ.)
- Savko K.A., Samsonov A.V., Bazikov N.S. (2011) Metaterigenous rocks of the Vorontsov series of the Voronezh

- crystal massif: geochemistry, features of formation and sources of demolition. *Vestn. VGU. Ser. Geol.*, (1), 70-94. (In Russ.)
- Savko K.A., Samsonov A.V., Salnikova E.B, Kotov A.B., Larionov A.N., Korish E.H., Kovach V.P., Bazikov N.S. (2019) Mesoarchean tonalite-trondjemite-granodiorite associations of Eastern Sarmatia: age and geological position *Stratigr. Geol. Korrel.*, **27**(5), 4-18. (In Russ.)
- Shatskii N.S. (1964) Selected Works. Structural Relationships between Platforms and Folded Geosynclinal Regions. Comparative Tectonics of Ancient Platforms. Article 3. Moscow, Nauka Publ. Vol. 2, p. 475-494. (In Russ.)
- Shatskii N.S. (1964) Selected Works. Deep Dislocations Extending through Platforms and Foldbelts: Volga Basin and the Caucasus. Comparative Tectonics of Ancient Cratons. Article 4. Moscow, Nauka Publ. Vol. 2, 7-12. (In Russ.)
- Shchipanskii A.A., Khodarevskaya L.I., Konilov A.N., Slabunov A.I. (2012) Eclogites of White Sea belt (Kola peninsula). *Geologiya i Geofizika*, **53**(1), 3-29. (In Russ.)
- Shchipansky A.A., Samsonov A.V., Petrova A.Yu., Larionova Yu.O. (2007) Geodynamics of the eastern margin of Sarmatia in the Paleoproterozoic. *Geotectonika*, (1), 43-70. (In Russ.)
- State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Baltic series. Sheet P-(35),36 – Petrozavodsk. (2015) St.Petersburg, Publishing house Cartographer fab VSEGEI, 321 p. (In Russ.)
- Tectonics of the White Sea and adjacent areas (The explanatory notes to “The Tectonic Map of the White Sea and Adjacent Areas”, at a Scale of 1 : 1 500 000) (A.S. Baluev, V.A. Zhuravlev, E.N. Terekhov, E.S. Przhiyalgovsky). (Editor-in-Chief M.G. Leonov). (2012) Moscow, GEOS, Iss. 597. 104 p. (In Russ.)
- Terent'yev R.A. (2005) Early Proterozoic paleobasin of the Losev suture zone. *Lithology*, (1), 81-93. (In Russ.)
- Trofimov (2006) Deep seismic researches MOV-OGT on the trip Tatseis-2003, which intersect the Volga-Urals oil-gas-bearing province. *Geotectonics*, (4), 3-20.
- Ziegler P.A., Dezes P. (2006) Crustal evolution of Western and Central Europe. The European lithosphere: an introduction. (Ed. D.G. Gee, R.A. Stephenson) Geological Society Mem. No. 32 Vrije Universiteit, Amsterdam Netherlands. Published by The Geological Society London, 12-43.