Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет»

(СПбГУ)

УДК 551.82

Рег № НИОКТР АААА-Б17-317032150045-3

Инв. №40033385

УТВЕРЖДАЮ

Начальника Управления

научных исследований СПбГУ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Е.В. Лебедева

« » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г.

ОТЧЁТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ЭВОЛЮЦИЯ РИФЕЙ-КЕМБРИЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ БАЛТИКИ И СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРКТИКИ

По гранту РФФИ

(№ 17-05-00858 от 31.03.2017)

Руководитель НИР,

доцент, кандидат геолого-минералогических наук  ** Ершова В.Б.

Санкт-Петербург

2019

Итоговый отчет по гранту No (17-05-00858)

«ЭВОЛЮЦИЯ РИФЕЙ-КЕМБРИЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ БАЛТИКИ И СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРКТИКИ»

Руководитель: Ершова Виктория Бэртовна

**Реферат**

Определены источники сноса терригенных отложений докембрийской и раннекембрийской осадочной последовательности северо-запада ВЕП (Ленинградская область). Источником сноса для рифейских и вендских отложений (редкинский и нижней части котлинского горизонта) выступали поднятия фундамента ВЕП и граниты рапакиви. Для отложений верхов котлинского горизонта венда и нижнего кембрия источником сноса выступал таманский ороген. Установлено что поступление кластики с Тиманского орогена в центральные части ВЕП началось в позднем венде, а не в раннем кембрии, как это предполагалось ранее. Уточнена стратиграфическая последовательность и установлены источники сноса кластики для рифейских отложений Среднего Тимана. Установлен максимальный возраст седиментации, как середина-конец среднего рифея для изученных метаосадочных толщ четласской серии. Основным источником кластики рифейских отложений выступали поднятия фундамента ВЕП и свеконорвежский ороген.

На основе U-Pb-Hf датирование обломочных цирконов установлены источники сноса кластики для метаосадочных терригенных комплексов Карского блока (северный Таймыр и арх. Северная Земля). Основным источником сноса кластики для изученных отложений выступал Тиманский ороген. Исследования позволили подтвердить пери-Балтийское происхождение Карского террейна. Проведено литохимическое изучение пограничных верхневендских-нижнекембрийских отложений Балтийской моноклинали в разрезах скважин Ленинградской области и северо-востока Эстонии в объеме редкинского, котлинского и лонтоваского горизонтов. Выявлены как общие особенности, так и отличия в породных ассоциациях отдельных горизонтов в различных скважинах, установлены локальные вариации условий осадконакопления. Результаты доложены на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых журналах.

**Основная часть отчета о НИР**

Основной целью представленного проекта является реконструкция рифей-кембрийской геологической истории северо-западной окраины Балтики и смежных территорий Арктики на основе изучения осадочной летописи.

Основные задачи следующие:

1) Реконструкция условий осадконакопления и фациальной зональности рифей-кембрийских отложений северо-запада Русской платформы и Тиманской антеклизы.

2) Реконструкция источников сноса рифей-кембрийских отложений северо-запада Русской платформы и Тиманской антеклизы.

3) Выявление роли Тиманского орогена в поступлении кластики на северо-запад Русской платформы и в смежные регионы Арктики в венде-кембрии.

**Методы и подходы, использованные при реализации Проекта:**

1) Литолого-фациальное исследование осадочных толщ. Изучение структурно-текстурных особенностей осадочных горных пород на основе имеющихся полевых наблюдений и изучения кернового материла. Детальное изучение рифей-кембрийской осадочной последовательности, определение обстановок осадконакопления и ключевых уровней их изменения.  
2) Петрографические исследования. Детальное микроскопическое изучение песчано-алевролитовых пород позволит установить основные составляющие компоненты изучаемых пород, реконструировать дальность переноса обломков и на качественном уровне определить состав пород в источниках сноса.  
3) Геохимический анализ распределения оксидов, малых и редкоземельных элементов в терригенных породах с целью выяснения их генезиса и реконструкции геодинамических обстановок в областях питания осадочных бассейнов базируется на методиках, описанных в [1-5]. Литофациальные и палеоэкологические реконструкции при анализе обстановок формирования докембрийских отложений, и в том числе при изучении типовых разрезов венда различных регионов мира (Северо-восток Русской платформы и Урал; Доушанто, Южный Китай; Оман; разрезы Намибии и Авалона и др.) с использованием геохимических критериев и изотопных данных в настоящее время стали практиковаться достаточно широко [6-10]. Использование геохимических критериев (отношений FeHR/Fetot, V/Cr, V/V+Ni, Ce/Ce\*, и др.) при изучении отложений венда различных регионов мира для реконструкции палеоэкологических режимов позволяет определять окислительно-восстановительные обстановки и относительное содержание кислорода в среде седиментации [11-17].

4) Комбинированный изотопный U-Pb и Hf анализ обломочных цирконов методом LA-ICP-MS. Этот метод датирования стал активно применяться для изучения обломочных цирконов лишь в последние 5-7 лет, но уже приобрел большую популярность [18-21]. Получаемые на основе Lu-Hf изотопного анализа значения eHf(T) в цирконе характеризуют соотношение мантийного и корового источников, участвовавших в формировании родоначальной магмы. В отличие от Sm-Nd метода исследований осадочных пород, который не дает возможности учитывать возрастную и изотопно-геохимическую гетерогенность компонентов осадочной породы, U-Pb-Hf метод позволяет охарактеризовать каждую возрастную популяцию цирконов отдельно. Применение U-Pb-Hf метода анализа обломочных цирконов позволил решить следующие задачи:

1) Установить источники сноса на основе двух параметров: U-Pb изотопного возраста обломочных цирконов и значения Hf (T).

2) Определить этапы формирования ювенильной коры и рубежи ее переработки в ходе эволюции складчатых поясов, поставлявших терригенный материал в осадочный бассейн.  
3) Выявить островодужные террейны как источники сноса и расшифровать возраст их фундамента, что является крайне важной задачей при построении палеогеографических реконструкций.

Анализы выполнены в ходе совместных исследований в лаборатории геологического отделения Университета г. Осло (Норвегия) и изотопной лаборатории Университета штата Техас в г. Остин (США). Проведение комплексных исследований позволило получить новые данные и провести обобщения на базе как традиционных, так и современных, приемов и методов, что позволило выявить особенности геодинамической эволюции исследуемого региона. Уровень проведенных исследований определяется использованием современных аналитических методик и проведением совместных исследований с коллегами из ведущих университетов и аналитических центров мира.

**Важнейшие результаты, полученные при реализации Проекта**

1) LA-ICP-MS датирование обломочных цирконов проведено для 15 образцов из рифей-раннекембрийских отложений Ленинградской области. Наши исследования охватили все стратиграфические уровни докембрийской и раннекембрийской последовательности СЗ Русской платформы и позволили охарактеризовать источники сноса кластики и расшифровать особенность геодинамических режимов и палеографии.

Датированные образцы на основе распределения возрастов обломочных цирконов можно разделить на три группы. В первой группе образцов (нижний рифей) преобладают цирконы раннего мезопротерозоя и позднего палеопротерозоя. Источником сноса этих зерен выступали близко расположенные локальные поднятия фундамента ВЕП, включая граниты рапакиви. Вторая группа образцов включает в себя образцы, отобранные из верхневендских отложений котлинского и редкинского горизонтов. В датированных образцах основные популяции обломочных цирконов образуют кластеры с возрастами около 1970–1850 и 1600–1550 млн. лет соответственно, которые хорошо коррелирует с магматическими и метаморфическими событиями свекофенский орогений и возрастами гранитов рапакиви Балтийского щита. Третья группа образцов характеризует стратиграфический интервал котлинского, лонтоваского и доминропольского горизонтов верхнего венда и раннего кембрия. Датированные цирконы из этой группы образцов имеют широкий разброс возрастов включая многочисленные зерна палео-мезопротерозйоского возрастов, включая позднемезопротерозойские зерна, отсутствующие в породах более древних стратиграфических уровней. Характерной особенностью этой группы образцов является присутствие значительного количества зерен позднего неопротерозоя и раннего кембрия, близких возрасту седиментации. Наши данные показали, что источником кластики для котлинского-доминопольского времени выступал тиманский ороген. Удалось установить, что начало поступление кластики на северо-запад ВЕП датируется поздним вендом, а не вторым ярусом кембрия как это предполагалось ранее [22]. Распределение возрастов обломочных цирконов из изученных образцов сходно с данными, полученными из одновозрастных отложений скандинавских каледонид. Следовательно, тиманский ороген поставлял обломочный материал не только в краевые части континента Балтия, но и в центральные начиная с позднего венда.

По результатам исследований опубликованы две статьи:

1. Ershova V.B., Ivleva A.S., Podkovyrov V.N., Khudoley A.K., Fedorov P.V., Stockli D., Anfinson O., Maslov A.V., Khubanov V. Detrital zircon record of the Mesoproterozoic to Lower Cambrian sequences of NW Russia: implications for the paleogeography of the Baltic interior // GFF. 2019. v. 141. p. 279-288. DOI: 10.1080/11035897.2019.1625073
2. Ivleva, A.S., Podkovyrov, V.N., Ershova, V.B., Khubanov, V.B., Khudoley, A.K., Sychev, S.N., Vdovina, N.I., Maslov, A.V. U–Pb LA–ICP–MS Age of Detrital Zircons from the Lower Riphean and Upper Vendian Deposits of the Luga–Ladoga Monocline (2018) Doklady Earth Sciences, 480 (2), pp. 695-699.

**2) Реконструкция источников сноса метаосадочных** комплексов Карского блока (Северный Таймыр и арх. Северная Земля) на основе U-Pb-Hf датирования обломочных цирконов.

Ранее было проведено U-Pb датирование обломочных цирконов из 7 проб, отобранных на северном Таймыре и о. Большевик арх. Северная Земля из метаморфизованных комплексов, рассматриваемых как рифейские. За отчётный период в этих же пробах проведено определение Lu-Hf характеристик в тех же образцах. Уран-свинцовое датирование показало, что распределение обломочных цирконов весьма сходно во все датированных образцах. Архейские зерна единичны, палеопротерозойские зерна составляют от 4 до 10% от датированных зерен. Мезопротерозойские зерна составляют 7-21% и группируются во временном интервале 1170-1580. млн лет. Неопротерозойские зерна наиболее многочисленные и составляют от 55 до 72 % датированных зерен. Большинство неопротерозойских зерен имеют возраста от 650 до 550 млн лет. Практически во всех образцах были встречены и раннекембрийские зерна. Lu-Hf исследования произведены для 504 зерен цирконов возрастом от неоархея до кембрия. Кембрийские зерна показывают широкий разброс εhf(t) -6 до +14. Поздненеопротреозойские зерна εhf(t) составляет +14 до -26, но большинство значений варьируют +6 до -6 (181 из 306 анализов 59%). Ранненеопротерозойский кластер имеют узкий разброс значений εhf(t) -5 до +4. Положительные значения εhf(t) характерны для мезо- и палеопротерозойских зерен.

Полученные данные указывают, что в источнике сноса были распространены магматические породы близкие к возрасту седиментации, а их εhf(t) характеристики говорят о смешение ювенильного и зрелого источника расплава. Такие характеристики обычно характерны для активных окраин, развивающихся на континентальной коре. Наши данные U-Pb-Hf датирования обломочных цирконов показывают, что основным источником сноса для кембрийских отложений Карского блока (Серный Таймыр и арх. Северная Земля) выступал Тиманский ороген. Эти исследования подтвердили ранее высказывавшиеся предположения [23, 24] о расположение Карского террейна в раннем-среднем палеозое вдоль континента Балтика.

Результаты этого исследования опубликованы в журнале Minerals (Ershova, V.; Prokopiev, A.; Khudoley, A.; Andersen, T.; Kullerud, K.; Kolchanov, D. U–Pb Age and Hf Isotope Geochemistry of Detrital Zircons from Cambrian Sandstones of the Severnaya Zemlya Archipelago and Northern Taimyr (Russian High Arctic). Minerals 2020, 10, 36.)

**3) Проведено** литохимическое изучение пограничных верхневендских-нижнекембрийских отложений Балтийской моноклинали в разрезах скважин Ленинградской области и северо-востока Эстонии в объеме редкинского, котлинского и лонтоваского горизонтов. Проанализированы данные о содержании главных породообразующих окислов для 250 образцов из всего спектра пород, вскрытых при бурении шести скважин. Часть аналитического материала взята из банка данных PRECSED ИГГД РАН (1994) (скв. Костово-13, Пюсси), другая часть аналитики была получена в последние годы в химических лабораториях ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) (скв. Шоткуса-1, Коровье-8) и ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) (скв. Уткина заводь). Данные по скв. Вайкла-24 (Эстония) были заимствована из работы Л.Сепп [25]. Изученные ассоциации пород отдельно взятых горизонтов из различных разрезов не являются по составу вполне идентичными, что на наш взгляд объясняется, прежде всего, различиями в фациальных условиях осадконакопления.

Отложения редкинского горизонта (старорусская свита) вскрыты только в восточной части региона в трех скважинах Ленинградской области (Шоткуса-1, Костово-13 и Уткина заводь); в западной части Балтийской моноклинали, на территории Эстонии, они отсутствуют [26-28]. Эти отложения характеризуются относительно сходным составом пород и одинаковой небольшой мощностью и соответствуют своему геостратотипу в районе г. Старая Русса. Здесь преобладают тонкозернистые осадки, представленные алевролитами, аргиллитами и сиаллитами (глиноземистыми аргиллитами); в основании свиты отмечаются песчаные прослои. Наиболее тонкозернистые глиноземистые составы, содержащие микроконкреции и линзы пирита, присутствуют в отложениях скв. Уткина заводь, что свидетельствует о относительно глубинных условиях осадконакопления в данной части морского бассейна.

Отложения котлинского горизонта (василеостровская и воронковская свиты) отчетливо разделяются на две ассоциации или две толщи пород. Первая из них - пестрая по составу и преобладающая по распостраненности толща (в пяти скважинах из шести) переменной мощности представлена незакономерным переслаиванием песчаников с алевролитами, реже с аргиллитами. На графиках АМ и ГМ кривая изменения состава этих отложений имеет пилообразный характер. Вторая - это весьма однородная по составу мощная толща (скв. Уткина заводь, 150 м) представленная умеренно и высокожелезистыми сидеритовыми алевроаргиллитами. Очевидно, что первая ассоциация осадочных пород отвечает прибрежным, мелководным фациям, а вторая – относительно глубоководным условиям формирования осадочных отложений.

Отложения лонтоваского горизонта, вскрытые в четырех скважинах, также, как и котлинские, разделяются на две породные ассоциации. В трех скважинах нижнекембрийские отложения представлены неоднородной по составу толщей переслаивания алевролитов и аргиллитов, иногда с песчаниками (скв. Пюсси); эти отложения, скорее всего, относятся к ломоносовской или к лонтоваской (в Эстонии) свите. В одной из четырех скважин (Коровье-8) наблюдается преобладание тонкозернистых умеренно глубоководных алевроаргиллитов, характерных для отложений сиверской свиты, которые непосредственно ложатся на отложения котлинского горизонта. Поэтому изменения породных ассоциаций ломоносовской и сиверской свит вероятно связаны с локальными обстановками осадконакоплениями внутри лонтоваского горизонта. Таким образом, дифференцированный характер фациальных условий осадконакопления и перерывов в седиментации, которые подразумевает геоморфологические особенности бассейна осадконакопления, сохраняется от верхнего венда к нижнему кембрию, на что неоднократно обращали внимание Р.Э.Дашко с коллегами [29]. Принятая согласно ОСШ граница венда и кембрия в данном регионе [30] вероятно далеко не всегда совпадает с подошвой отложений балтийской серии (ломоносовская или лонтоваская свиты), а определяется длительностью перерыва в осадконакоплении между верхнекотлинскими и лонтоваскими отложениями. Этот перерыв и сопутствовший ему размыв верхнекотлинских отложений, судя по возрастам обломочных цирконов, может соответствовать интервалу от ~541 (граница кембрия в МСШ) до 535 млн. лет (граница кембрия ОСШ), а возможно на западе территории и до принимаемого эстонскими геологами возраста начала лонтоваской трансгрессии в 529 млн. лет.

По результатам подготовлена статья и принята к печати в журнал Вестник СПбГУ (Подковыров В. Н., Котова Л. Н. Литогеохимия и условия формирования отложений верхнего венда и нижнего кембрия северо-запада Балтийской моноклинали).

4) Проведено U-Pb датирование обломочных цирконов из пород четласской серии (рифей) обнажающихся в междуречье р. Мезень и р. Вымь. Метапесчаники визингской свиты отобран из разреза в верхнем течении р. Косью (правый приток р.Мезень). Метаалевропесчаники новобобровской свиты и кварцитопесчаники светлинской свиты отбирались в самых верховьях р. Мезень. Большинство обломочных цирконов из метатерригенных пород четласской серии имеют удлиненную форму, размеры их варьируют от 70 до 200 мкм. Многие зерна сохранили фрагменты первичных граней, однако большинство имеют угловатую и слабоокатанную форму. Часть зерен характеризуется наличием отчетливой внутренней зональности, у некоторых кристаллов в катодолюминесцентных лучах наблюдается более древнее "ядро" с каймами обрастания (вероятно метаморфического происхождения).

Распределение U-Pb-изотопных возрастов обломочных цирконов, выделенных нами из метаосадочных пород четласской серии Четласского камня, в существенной степени сходно, что вероятно, указывает на единый источник кластического материала. В изученных нами образцах присутствуют обломочные цирконы с архейско-раннепротерозойскими, ранне- и среднерифейскими возрастами. Количество первых в составе исследованных популяций немного больше 50%, обломочные цирконы с раннерифейскими возрастами составляют примерно 30%, а со среднерифейскими – около 15% от общего числа датированных зерен. Источниками цирконов с архейскими возрастами могли являться магматические и метаморфические породы того же возраста, обнажающиеся в северо-западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [31-37]. Кристаллы с раннепротерозойскими (1.7–1.9 млрд лет) возрастами могли поступать в осадки за счет размыва комплексов пород свекофенского орогена, известных на севере и северо-западе (в современных координатах) ВЕП [37-42].

Цирконы с позднепротерозойскими возрастами разделяются на две группы. Первая соответствует интервалу 1570–1500 млн лет и может быть сопоставлена с возрастами гранитов рапакиви широко развитых на Балтийском щите [34, 43-46]. Вторая группа цирконов охватывает интервал возрастов от 1370 до 1170 млн лет (средний рифей). Известно [45,47], что магматические и метаморфические породы такого возраста практически отсутствуют в структурах фундамента ВЕП. В то же время, магматические и метаморфические события в интервале 1.0-1.39 млрд лет известны в пределах гренвильско- свеконорвежского орогена на северо-западе (в современных координатах) ВЕП [48-50]. Исходя из сказанного, можно предполагать, что распределение U-Pb-изотопных возрастов обломочных цирконов в изученных образцах песчаников четласской серии указывает на то, что источниками кластики для верхнедокембрийских отложений Среднего Тимана являлись как фундамент ВЕП, так и гренвильский-свеконорвежский ороген. В настоящее время комплексы пород этого орогена известны в пределах ВЕП только на западе Скандинавии, однако Х. Лоренц с соавторами [23] предположили, что первоначально он был развит значительно шире и протягивался вдоль всей северной окраины ВЕП и далее на север (в современных координатах).

Наши петрографические исследования также подтверждают, что для терригенных пород четласской серии указанный ороген выступал, вероятно, основным источником сноса. Преобладание полуокатаных и угловатых цирконов среди датированных зерен так же может указывать на относительно близкорасположенный источник сноса и/или незначительную переработку кластического материала при транспортировке осадка.

Считается [51], что осадочные бассейны, питающиеся обломочным материалом, поступающим за счет разрушения рядом расположенных орогенов, характеризуются присутствием обломочных цирконов с возрастом близким к возрасту седиментации. Это позволяет предполагать, что возраст наиболее молодых цирконов в изученных нами терригенных комплексах рифея Среднего Тимана является близким к возрасту седиментации. Полученные данные дают возможность определить максимальный возраст седиментации пород четласской серии и уточнить стратиграфическое расчленение изучаемых комплексов. Так среди датированных обломочных цирконов из светлинской свиты наиболее молодое конкордатное зерно имеет возраст 1150 ± 16 млн лет, новобобровской свиты – 1140 ± 6 млн лет, визингской свиты – 1096 ± 147 млн лет. Возраста, рассчитанные на основе возраста самого молодого пика на графиках распределения (YPP), варьируют в интервале от 1225 до 1210 млн лет, возраста молодых кластеров обломочных цирконов (YGC 1) от 1131 до 1192 млн лет. Полученные данные свидетельствуют, что породы четласской серии сформировалась не ранее середины или конца среднего рифея. Это позволяет значительно сузить стратиграфический интервал, отвечающий времени формирования терригенных толщ четласской серии. Наши данные также позволяют реконструировать источники кластического материала, которые служили "материнскими" для пород четласской серии Среднего Тимана.

Согласно нашим исследованиям одним из основных источников сноса для верхнедокембрийских последовательностей Среднего Тимана выступал гренвильско-свеконорвежский ороген. Вместе же с данными о присутствие обломочных цирконов с ранне- и среднерифейскими возрастами в песчаниках ишеримской свиты Северного Урала [52], породах базальных уровней каратавия Южного Урала [53,54], верхнерифейских отложениях Южного [55] и Северного Тимана [56], п-ов Рыбачий и Средний [57], метаосадочных породах Северной Норвегии [10], это подтверждает предположение [23] о существенно более широком распространении комплексов пород свеконорвежского орогена на севере ВЕП (в современных координатах).

По результатам этих исследований подготовлена статья и подана в журнал Стратиграфия и Геологическая корреляция (БрусницынаЕ. А., ЕршоваВ. Б., ХудолейА. К., Андерсон Т., Маслов А. В. Результаты U–PB (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов из пород четласской серии среднего Тимана: возраст и источники сноса).

**Список литературы**

[1] McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. Processes controlling the composition of clastic sediments (Eds M.J. Johnsson, A. Basu). Geol. Soc. Am. Spec. Pap., (1993) 284, 21-40. DOI:https://doi.org/10.1130/SPE284-p21

[2] McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements (Eds B.R. Lipin, G.A. McKay). Rev. Mineral. Geochem., 21(1), (1989) 169-200.

[3] McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. J. Geol., (1991) 99(1), 1-21. DOI: https://www.jstor.org/stable/30068762

[4] Maynard J. B., Valloni R., Shing Ju Ho Compositionof modern deep-sea sands from arc-related basin // J. Geol. Soc. Am. Spec. Publs., (1982) No. 10, 551–561.

[5] Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composi-tion of sandstones // J. Geol. (1983) 91, 611–627.

[6] Grazhdankin D. Late Neoproterozoic Sedimentation in the Timan Foreland // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica, Ed. by D. G. Gee and V. Pease, Geol. Soc. London. Mem., (2004) Vol. 30, pp. 37–46.

[7] Grazhdankin D.V. Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota. J. Paleontol., (2014) 88(2), 269-283.

[8] Fedonkin M.A. The origin of the Metazoa in the light of the Proterozoic fossil record // Paleontol. Res. 2003. Vol. 7. P. 9-41.

[9] Cawood P.A., Hawkesworth C., Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting // Geology. 2012. V. 40. P. 875–878.

[10] Zhang, W., Roberts, D., & Pease, V., 2015: Provenance characteristics and regional implications of Neoproterozoic, Timanian-margin successions and a basal Caledonian nappe in northern Norway. Precambrian Research 268, 153–167. doi:10.1016/j. precamres.2015.07.006

[11] Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. (2005) Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-восточное Беломорье). Литология и полез. ископаемые, (3), 267-280.

[12] Маслов А.В. (2005) Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 289 с.

[13] Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П. (2009) Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского форландового бассейна Тиманского орогена. Геохимия, (12), 1294-1318.

[14] Маслов А.В., Шевченко В.П., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Шевченко Н.В. Особенности распределения элементов-примесей и редкоземельных элементов в современных донных осадках нижнего течения р. Северной Двины и Белого моря // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 6. С. 463.

[15] Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А. и др. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018a. Т. 482. № 5. С. 558–561.

[16] Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2011) Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда южной части Вычегодского прогиба. Литология и полез. ископаемые, (5), 484-504.

[17] Подковыров В.Н., Маслов А. В., Кузнецов А. Б., Ершова В. Б. (2017). Литостратиграфия и геохимия отложений верхнего венда — нижнего кембрия Северо-Востока Балтийской моноклинали. Стратиграфия. Геологическая корреляция, 25 (1), 3–23.

[18] Beranek Luke P.; Cees R. van Staal; William C. McClelland; Steve Israel; Mitch G. Mihalynuk Detrital zircon Hf isotopic compositions indicate a northern Caledonian connection for the Alexander terrane //Lithosphere (2013) 5 (2): 163–168. https://doi.org/10.1130/L255.1

[19] Slama J., Petersen R.B. Zircon provenance of SW Caledonian phyllites reveals a distant Timanian sediment source// Journal of the Geological Society, 172, 465-478, 30 April 2015, https://doi.org/10.1144/jgs2014-143

[20] Saylor Joel E., Knowles Jennifer N., Horton Brian K., Nie Junsheng, Andres Mora Mixing of Source Populations Recorded in Detrital Zircon U-Pb Age Spectra of Modern River Sands// The Journal of Geology by The University of Chicago, 2013, volume 121, p. 17–33 2013. DOI: 10.1086/668683

[21] Glorie S., De Grave J. et al. 2011. Tectonic history of the Kyrgyz South Tien Shan (Atbashi-Inylchek) suture zone: the role of inherited structures during deformation-propagation. Tectonics, 30, TC6016, https://doi.org/10.1029/

[22] Кузнецов Н.Б., Орлов С.Ю., Миллер Е.Л. и др. Первые результаты U/Pb датирования детритных цирконов из раннепалеозойских и девонских песчаников южного Приладожья//ДАН, 2011, Т.438, №6, с.787-793

[23] Lorenz H., Gee D.G., Larionov A.N., Majka J. The Grenville–Sveconorwegian orogen in the high Arctic // Geol. Mag. 2012. V. 149. P. 875–891.

[24] V. B. Ershova, A. V. Prokopiev, N. N. Sobolev, E. O. Petrov, A. K. Khudoley, J. I. Faleided, C. Gainad, and R. V. Belyakova New Data on the Basement of Franz Josef Land, Arctic Region// Geotectonics, 2017, Vol. 51, No. 2, pp. 121–130

[25] Sepp, L. (2016). Redokssensitiivsed elemendid Balti basseini Ediacara-Kambriumi settekivimites Magistritöö, Tartu Ulikool. Available at: https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/51607/LiinaSeppMSc.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 23 Sep. 2020].

[26] Менс К.А., Пиррус Э.А. О стратиграфии пограничных слоев венда и кембрия на северо-западе Русской платформы//Известия АН СССР. Серия геологическая. 1971 №11 С. 93-103.

[27] Менс, К., Пиррус, Э. (1987). Стратиграфические пробелы в разрезе венда и кембрия Северной Прибалтики. Известия АН ЭССР. Геология, 36 (2), 49–57.

[28] Meidla, T. (2017). Ediacaran and Cambrian stratigraphy in Estonia: an updated review. Estonian Jour. Of Earth Sciences, 66 (3), 152–160. https://doi.org/10.3176/earth.2017.12

[29] Дашко, Р.Э., Александров, О.Ю., Котюков, П.В., Шидловская, А.В. (2011). Особенности инженерногеологических условий Санкт-Петербурга. В: Развитие городов и геотехническое строительство, (1). Доступно на: www.urban-development.ru/2011/2.pdf (Дата доступа: 23.09.2020)

[30] Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 40. Отв. ред. Жамойда А.И. СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. 39 с.

[31] Бибикова Е.В., Богданова С.В., Постников А.В. и др. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии: изотопно-геохронологическая характеристика супракрустальных пород и гранитоидов // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 6. С. 3–16.

[32] Егорова Ю.С. Санукитоиды Фенно-Карельской провинции Балтийского щита: геология, состава, источники. Автореф. дисс. … канд. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2014. 20 с.

[33] Зозуля Д.Р., Баянова Т.Б., Серов П.Н. Возраст и изотопно-геохимические характеристики архейских карбонатитов и щелочных пород Балтийского щита // Докл. АН. 2007. Т. 415. № 3. С. 383–388.

[34] Ларин А.М. Граниты рапакиви в геологической истории Земли. Статья 1. Рапакивигранитсодержащие магматические ассоциации возраст, геохимия, тектоническое положение // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17. № 3. С. 3–28.

[35] Сергеев С.А., Бибикова Е.В., Матуков Д.И., Лобач-Жученко С.Б. Возраст пород и метаморфических процессов Водлзерского комплекса Балтийского щита (по результатам анализа цирконов U-Th-Pb изотопным методом на ионном микрозонде SHRIMP II) // Геохимия. 2007. № 2. С. 229–236.

[36] Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatschev R. et al. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Prec. Res. 2008. V. 160. P. 23–45.

[37] Korja A., Lahtinen R., Nironen M. The Svecofennian orogen: A collage of microcontinents and island arcs // Geol. Soc. London, Memoir. 2006. V. 32. P. 561–578.

[38] Балтыбаев Ш.К., Левченко О.А., Бережная Н.Г. и др. Время и длительность свекофеннской плутонометаморфической активности на юго-востоке Балтийского щита, Приладожье // Петрология. 2004. Т. 12. № 4. С. 374–393.

[39] Балтыбаев Ш.К., Левченков О.А. Вулканиты в свекофеннидах Приладожья и результаты U-Pb, Pb-Pb датирования пород разного генезиса как основа для корреляции свекофеннских событий // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2005. Т. 13. № 2. С. 3–18.

[40] Балтыбаев Ш.К. Свекофенниды Фенноскандии: пространственно-временная корреляция эндогенных процессов. Автореф. дисс. … докт. геол.-мин.наук. СПб.: ИГГД РАН, 2005. С. 46

[41] Петров В.П. Метаморфизм раннего протерозоя Балтийского щита. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 325 с.

[42] Балаганский В.В., Горбунов И.А., Мудрук С.В. Палеопротерозойские Лапландско-Кольский и Свекофеннский орогены (Балтийский щит) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. Т. 26. № 3. С. 5–11

[43] Баянова Т.Б., Пожиленко В.И., Смолькин В.Ф. и др. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2002. 53 с.

[44] Amelin Y.A., Larin A.M., Tucker R.D. Chronology of multiphase emplacement of the Salmi Rapakivi granite anorthosite complex, Baltic shield: implications for magmatic evolution // Contr. Mineral. Petrol. 1997. V. 127. P. 353–368.

[45] Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatschev R. et al. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Prec. Res. 2008. V. 160. P. 23–45.

[46] Rämö O.T., Turkki V., Mänttäri I. et al. Age and isotopic fingerprints of some plutonic rocks in the Wiborg rapakivi granite batholith with special reference to the dark wiborgite of the Ristisaari Island // Bull. Geol. Soc. Finland. 2014. V. 86. P. 71–91.

[47] Lahtinen R. Main geological features of Fennoscandia // Geol. Sur. Finland. Spec. Pap. 2012. V. 53. P. 13–18.

[48] Bingen B., Nordgulen Ø., Viola G. A four-phase model for the sveconorwegian orogeny, SW Scandinavia // Norsk Geol. Tidsskrift. 2008. V. 88. P. 43–72.

[49] Mints M.V. Meso-Neoproterozoic Grenville-Sveconrowegian intracontinental orogeny: history, tectonics, geodynamics // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. V. 8. P. 619–642.

[50] Spencer C.J., Cawood P.A., Hawkesworth C.J. et al. Generation and preservation of continental crust in the Grenville Orogeny // Geoscience Frontiers. 2015. V. 6. P. 357–372.

[51] Cawood P.A., Hawkesworth C., Dhuime B. Detrital zircon record and tectonic setting // Geology. 2012. V. 40. P. 875–878.

[52] Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В. Первые результаты U–Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов из метапесчаников Ишемского антиклинория (Северный Урал) // Докл. АН. 2015. Т. 464. № 5. С. 589–593.

[53] Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А. и др. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018a. Т. 482. № 5. С. 558–561.

[54] Маслов А.В., Петров Г.А., Ронкин Ю.Л. К реконструкции состава пород–источников сноса для средне- и верхнерифейских отложений Ишемского и Башкирского антиклинориев (Урал) // Геохимия. 2018б. № 5. С. 410–426.

[55] Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A. et al. Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: Implications for plate tectonic models // Gondwana Res. 2010. V. 17. P. 583–601.

[56] Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. U-Pb-возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских терригенных отложений Северного Тимана // Докл. АН. 2013. Т. 450. № 5. С. 562–566.

[57] Михайленко Ю.В., Соболева А.А., Хоуриган Д.К. U-Pb возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских отложений полуострова Средний и Рыбачий (северное обрамление Кольского полуострова) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 5. С. 3–27.