

СТРАТИГРАФИЯ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Медведев П.В., Макарихин В.В., Рычанчик Д.В.

Институт геологии Карельского научного центра РАН

PALEOPROTEROZOIC STRATIGRAPHY OF THE EASTERN FENNOSCANDIAN SHIELD: STATE OF ART, PROBLEMS AND PROSPECTIVES

Medvedev P.V., Makarikhin V.V., Rychanchik D.V.

Institute of Geology Karelian Research Center of RAS

Modern approach to subdivision of Paleoproterozoic successions is connected with applying of event stratigraphy. In Phanerozoic successions, the definition and correlation of stratigraphic units is based on paleontological method, supported by abundant high-precision isotopic dates. In contrast, Precambrian sedimentary successions contain few fossils useful for correlation purposes and commonly lack precise geochronology. This has hampered the development of robust chronostratigraphic frameworks for such successions, and restricted reconstruction of their geological history. It has also led to the proliferation of many local stratigraphic nomenclatures rife with numerous formal and informal names. The Russian and Finnish parts of the Fennoscandian Shield are notable exceptions in that effort was made to define and apply a common stratigraphic nomenclature for the entire shield. There, Paleoproterozoic volcanic-sedimentary sequence is subdivided into six stratigraphic units (from base to top): Sumian, Sariolian, Jatulian, Ludicovian, Kalevian and Vepsian, spanning the time interval 2.5-1.7 Ga. These units were termed superhorizons in Russia and groups in Finland. The subdivision was based mainly on Lithostratigraphic approach. For using of time constrained global events as a basis for chronostratigraphic subdividing of the Paleoproterozoic sequence on the Fennoscandian Shield one have to place these units within the chronostratigraphy based on global events. Additional geochronological constraints are needed before this framework can be adopted formally and applied elsewhere. Phanerozoic stratigraphy is based on historical nomenclature assigned to biological and nonbiological globally recognizable events. There are at least 60 global events in Phanerozoic history. The four global events can be distinguished in the Paleoproterozoic on the Fennoscandian Shield: 1) atmospheric redox-state (tapering-off of the mass-independent fractionation of sulphur isotopes by ca. 2430 Ma), 2) climate (Huronian ice age between ca 2400-2200 Ma), 3) seawater geochemistry (Lomagundi-Jatuli isotope excursion ca. 2200-2060 Ma), 4) recycling of organic matter (depleted ^{13}C carbonate concretions, younger than ca. 2060 Ma) and changes assigned to enhanced biological productivity and preservation (black shale event "Phenomenon Shunga"). These events may serve as a starting point in the event stratigraphy approach to subdivide of Paleoproterozoic sequence. The first priority work for building the Paleoproterozoic stratigraphic nomenclature assigned to global events is to obtain new, reliable precise ages, along with comprehensive understanding of rock geochemistry and depositional environments worldwide; this cannot be made by using data derived from Fennoscandian Shield solely or any other individual craton. This is because the Precambrian rock record remains incomplete on any given continent. Although 700 million years of Paleoproterozoic history have been recorded on the Fennoscandian Shield, the 20 km thick volcanic-sedimentary sequence would yield an average accumulation rate of ca. 30 m per million years. Such rates cannot be considered to represent a complete geological record. Several prominent unconformities dividing the stratigraphic units remain undated.

Современное представление о стратиграфии раннедокембрийских образований в России основывается на решениях двух крупных стратиграфических совещаний, состоявшихся в Уфе (1990 г.) и в Апатитах (2000 г.). Несмотря на существующую и постепенно входящую в практику наших исследований Общую (международную) шкалу докембрия (Ogg et al., 2008), подразделения отечественной шкалы существенно отличаются от международной, а сопоставление этих двух шкал осуществляется с определёнными допущениями (Корень, 2009). Объясняется это тем, что нумерический принцип определения границ

общих подразделений международной шкалы нередко вступает в противоречие с историко-геологическим обоснованием границ выделяемых крупных стратонов. Особенно это характерно для подразделений нижнего докембрия. Как отмечено в решениях 3 Всероссийского совещания "Общие вопросы расчленения докембрия" (Решение III Всероссийского..., 2001): "...требованиям эталона идеального разреза нижнего докембрия России наиболее полно отвечает Региональная стратиграфическая схема Карелии и Кольского полуострова. Она составляет основу создания Всероссийской сети стратотипов общих подразделений

нижнего докембрия и их границ." Принятая на совещании Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России подразумевает создание единой сети стратотипических разрезов и точек границ стратотипов как основы точного датирования и событийного изучения межрегиональных подразделений Общей шкалы.

Применительно к стратиграфической шкале Карело-Кольского региона каждый из зафиксированных в ней надгоризонтов занимает вполне определённое положение, имеет свои чётко выраженные особенности и может быть сопоставлен с аналогичными образованиями в соседних регионах. Не хотелось бы акцентировать внимание на том, что в Стратиграфическом кодексе предусмотрено выделение надгоризонта в том случае, если необходимо объединить два или несколько горизонтов в одну более крупную единицу. В любом случае эти операции должны сопровождаться систематическим изучением самих геологических тел – носителей информации.

Как показал опыт работ на территории Карелии в качестве обоснования для выделения горизонтов (основных единиц региональной стратиграфической шкалы) в нижнем протерозое выступают литологический (седиментологический) с последующей генетической интерпретацией и фациальным анализом, палеонтологический, геохимический и изотопно-геохимический критерии (Геология Карелии, 1987; Коросов, 1991; Макарихин, Кононова, 1983; Проблемы стратиграфии..., 1989; Сацук и др., 1988; Макарихин и др., 1995; Хейсканен и Рычанчик, 1999). В итоге исследователи могут установить различные геологические события в масштабе региона, определить их последовательность и соотношение с глобальными событиями. Комплексная характеристика выбранных стратотипических разрезов горизонтов региональной стратиграфической шкалы обеспечит её сопоставление со стратиграфическими шкалами соседних регионов и способствует конкретному наполнению общей (международной) стратиграфической шкалы (таб.).

Расчленение нижнего протерозоя в общей стратиграфической шкале докембрия России (Общая стратиграфическая шкала докембрия России..., 2002).

Subdivision of Paleoproterozoic in the Precambrian Stratigraphic chart of Russia

Эонотема	Эратема	Возраст нижней границы, млн. лет	Типовые стратиграфические подразделения (надгоризонты) региональной шкалы	Предлагаемые авторами горизонты	Характерные фоссилии (<i>Litophyta</i>)
НИЖНЕПРОТЕРОЗОЙСКАЯ (КАРЕЛЬСКАЯ)	Верхнекарельская	1800	Вепсийский	шокшинский	<i>Osagia jotnica</i>
				петрозаводский	<i>Leiosphaeridia</i>
		1920	Калевийский	лепялампинский	<i>Stirpsiphyton</i> <i>Osagia munoserica</i>
				пялк-ярвинский	<i>Styctosphaeridium</i> , <i>Cyathotes nigoserica</i>
		2100	Людиковский	суйсарский	<i>Stiriophyceae</i>
				заонежский	<i>Leiosphaeridia</i> , <i>Osagia kuprjakovii</i> , <i>Djalmekella shungitica</i>
	Нижнекарельская	2300	Ятулийский	онежский	<i>Calevia</i> , <i>Butinella</i> , <i>Omachtenia</i> , <i>Sundosia</i> , <i>Nucleophyton</i> , <i>Lukanoa</i>
				сегозерский	<i>Calevia sp.</i> <i>Stiriophyceae</i>
		2400	Сариолийский	селецкий	<i>Leiosphaeridia crassa</i>
				кумсинский	
	2500	Сумийский	ожиярвинский	<i>Protoklimetia sumica</i>	
			пайозерский		

К сожалению, в последнее время работы стратиграфической направленности, как в Карело-Кольском регионе, так и по России в целом не рассматриваются как приоритетные. Изолированные группы специалистов не имеют возможности для регулярных встреч, Региональная межведомственная стратиграфическая комиссия по Северо-Западу (РМСК) не собиралась на протяжении многих лет, ослабила свою работу постоянная комиссия по нижнему докембрию. В связи с этим, обобщение и корректировка полученных результатов, использование их в официальных стратиграфических схемах существенно осложняются.

Назрела необходимость по проведению ревизионных работ по унификации стратиграфических подразделений местной шкалы (свиты, серии и комплексы Карелии), рассмотрения и утверждения на РМСК основных региональных стратиграфических единиц – горизонтов (Карело-Кольский регион). Межведомственный стратиграфический комитет России (МСК) последним изданием Кодекса (Стратиграфический кодекс..., 2006) подчеркнул важность исследований, направленных на изучение вещественных носителей геологического времени – слоёв и содержащихся в них окаменелостей, выделения стратотипов, установления их границ, определяемых по конкретным геологическим событиям независимо от того, к какому времени они относятся.

В фанерозойской части шкалы геологического времени основой для выделения и сопоставления стратиграфических подразделений являются палеонтологический метод и точные определения изотопного возраста. В криптозое же осадочные толщи содержат слишком мало фоссилий, пригодных для биостратиграфии, кроме того, как правило, не хватает надёжных возрастных изотопных датировок. Это препятствует развитию хроностратиграфического подхода для расчленения, корреляции и воссозданию геологической истории докембрийских толщ, а также порождает множество местных стратиграфических схем с многочисленными подразделениями.

Геологами России и Финляндии была предпринята попытка создать общую стратиграфическую схему для Фенноскандинавского щита. В палеопротерозое выделено шесть главных подразделений (снизу вверх): сумий, сариолий, ятулий, людиковий калевий и вепсий, в ранге надгоризонта в России и группы (серии) в Финляндии. Названия даны по этнографическому признаку и происходят от исторических названий племён, населявших территорию Карелии и Финляндии. Эти подразделения нашли широкое применение для корреляции осадочных образований восточной части Фенноскандинавского щита (Семихатов и др., 1991; Решение..., 2001; Hanski, 2001). Первоначально считалось, что каждое из выделенных подразделений имеет свои литологические характеристики: сумий – незрелые обломочные породы и вулканиты кислого и среднего состава; сарио-

лий – полимиктовые конгломераты; ятулий – кварцевые конгломераты, зрелые аренинты, красноцветы и доломиты со строматолитами; людиковий – чёрные сланцы и вулканиты основного и ультраосновного состава; калевий – турбидиты грауваккового состава; вепсий – сероцветные и красноцветные кварцито-песчаники. Предпринимались попытки другой интерпретации этих подразделений, например, на основе концепции тектонофаций (Laajoki, 2005). Литологические особенности связывались с тектонической позицией: сумий и сариолий – рифтовые тектонофации; кайну и лапоний – узкое море или континентальный бассейн; ятулий – открытое море; калевий – тектонофации от рифтовых через узкое море к открытому морскому (в соответствии с тремя эпизодами складчатости в калевии). Такой подход, однако, не получил широкого распространения и не применялся российскими геологами.

Литологический подход к расчленению палеопротерозоя на подразделения от сумия до калевия глубоко укоренился в сознании геологов и способствовал сокращению стратиграфической номенклатуры (Геология Карелии, 1987). Однако переоценка его возможностей и универсальный использование седиментологических характеристик для геологических корреляций приводили к ошибкам, выявленным при последующем изотопном датировании (Melezhik and Sturt, 1998; Hanski, 2001). Более корректным является событийно-стратиграфический подход к расчленению и корреляции палеопротерозоя на основе распознавания в геологических разрезах изотопно-датированных глобальных событий. Для широкого его использования в геологической практике необходимы дополнительные изотопные датировки начала и конца или иного события, а также нижней и верхней границ стратиграфического подразделения, в котором это событие зафиксировано.

Нижняя граница сумия определена в зеленокаменном поясе Имандра-Варзуга на Кольском полуострове по возрасту крупных габбро-норитовых плутонов (2504.4 ± 1.5 млн. лет). На них несогласно (с базальными конгломератами в основании) залегает кукшинская свита (Ранний докембрий..., 2005). Возраст границы составляет 2504 млн. лет.

Следующее подразделение – сариолий включает в себя ледниковые отложения гуронского возраста. Установлению возраста его нижней границы препятствует пост-сумийское поднятие территории и неизвестная длительность эрозионного перерыва. Возраст самых молодых сумийских вулканитов составляет 2442.2 ± 1.7 млн. лет (Amelin et al., 1995), а возраст расслоенных габбро-норитовых интрузий, на которых несогласно залегают сариолийские конгломераты в сланцевом поясе Перяпохья, равен 2430 ± 4 млн. лет (Perttunen and Vaasjoki, 2001). Таким образом, нижняя граница сариолия датируется примерно в 2430 млн. лет.

Начало ломагунди-ятулийского изотопного события фиксирует нижнюю границу ятулия. Хотя точная датировка отсутствует, но начало этого события предшествует внедрению даек с возрастом 2206 ± 9 млн. лет (Karhu, 1993). Конец изотопного события датируется 2050 ± 8 млн. лет назад по центральной Финляндии (Karhu, 2005) или более точно 2058 ± 2 млн. лет назад по Печенгскому зеленокаменному поясу (Melezhik et al., 2007). Эти возрастные датировки хорошо согласуются с изотопным возрастом 2060 ± 8 млн. лет альбитового габбро Рииконски в финской Лапландии (Lehtonen et al., 1992). Этот возраст маркирует начало накопления углеродистых пород людиковия. Верхний возрастной предел ятулия составляет 2060 млн. лет.

Возрастные рубежи калевия обоснованы недостаточно хорошо. Наблюдается довольно быстрый литологический переход от богатых углеродом осадочных пород и лав основного-ультраосновного состава (людиковий) к калевийским граувакковым турбидитам и вулканитам от основного до кислого состава. В южной Финляндии в районе Тампере толща граувакковых песчаников содержит в себе кислые вулканиты возрастом 1904 млн. лет и прорывается гранитами возрастом 1890 млн. лет (Kähkönen, 1989). Таким образом, нижнюю границу калевия можно принять в 1900 млн. лет. Верхний рубеж калевия ограничен кислыми лавами возрастом около 1800 млн. лет (Kähkönen, 2005). Возраст цирконов из сиенитовых сегрегаций габбродолеритов Ропручейского силла, залегающего в толще вепсийских красноцветных кварцито-песчаников определен U-Pb методом в 1770 ± 12 млн. лет (Бибикова и др., 1990).

В фанерозое к настоящему времени выявлено 60 глобальных событий как биотического, так и абиотического характера. В криптозое выделение глобальных событий начато относительно недавно (Негруца, 2009; Семихатов и др., 1999; Eriksson et al., 2010; Melezhik et al., 2010). Так в палеопротерозое Фенноскандинавского щита можно выделить, по крайней мере, четыре глобальных события (Melezhik et al., 2005). Первое – изменение окислительно-восстановительного состояния атмосферы, связанное с исчезновением масс-независимого фракционирования изотопов серы около 2430 млн. лет назад. Второе – климатическое событие, связанное с гуронским оледенением в интервале 2400-2200 млн. лет назад. Третье – изменение геохимических характеристик морской воды, вызванное ломагунди-ятулийским изотопным событием в интервале 2200-2060 млн. лет назад. Четвертое – изменение в цикле органического вещества, связанное с появлением около 2060 млн. лет назад карбонатных конкреций обеднённых тяжёлым изотопом углерода ^{13}C и резким возрастанием степени сохранности органического вещества (феномен «Шуньга»). Перечисленные четыре события можно считать отправной точкой для использования событийно-

стратиграфического метода при расчленении и корреляции палеопротерозоя Фенноскандинавского щита.

Для успешного применения этого метода необходима точная датировка выявленных событий совместно с познанием характера обстановок осадконакопления и геохимических характеристик осадочных и вулканических пород в глобальном масштабе. Вследствие неполноты геологической летописи эти данные не могут быть получены только на одном кратоне или материке. Например, на Фенноскандинавском щите 700 млн. лет геологической истории палеопротерозоя представлены только 20 километровой вулканогенно-осадочной толщей, что предполагает чрезвычайно низкую скорость аккумуляции около 30 м за миллион лет. Следовательно, сохранившаяся геологическая летопись неполна и выделяемые на щите стратиграфические подразделения разделены крупными несогласиями неизвестной продолжительности. Осадочные толщи палеопротерозоя в интервале 2.5-2.0 млрд. лет (от сумия до людиковия включительно) имеют глобальное распространение, и фиксируют последовательно сменяющиеся отчётливые события: тектонические, климатические и биогеохимические изменения в экосфере Земли (Bekker et al., 2005). Это: 1) суперплюм (2.48-2.45 млрд. лет), выразившийся в повсеместном распространении бимодальных вулканических и плутонических пород, начало рифтогенеза и накопление полосчатых железорудных формаций; 2) глобальное оледенение (2.45-2.30 млрд. лет), сопровождаемое отклонениями в изотопном составе углерода; 3) период интенсивного выветривания; 4) суперплюм (2.25-2.20 млрд. лет), ставший причиной второй стадии рифтогенеза, сформировавший рои даек и вызвавший излияния платобазальтов; 5) глобальная положительная аномалия карбонатного углерода (2.22-2.10 млрд. лет); 6) рост содержания кислорода в атмосфере; 7) окончательный раскол суперконтинента Кенорландия (2.1-2.0 млрд. лет). Распознавание этих событий в осадочной летописи Земли с помощью комбинации стратиграфических методов и точной геохронологии имеет огромный потенциал для межрегиональных корреляций и познания эволюции палеопротерозойской экосферы.

Сопоставление осадочных толщ докембрия затруднено вследствие несовершенства возрастных определений границ стратиграфических подразделений. Преодолеть эту трудность можно с помощью событийно-стратиграфического метода, основанного на выделении толщ, маркирующих глобальные события. Такой подход особенно полезен для палеопротерозоя, поскольку в интервале от 2.5 до 2.0 млрд. лет назад экосфера Земли испытала целый ряд кардинальных тектонических, климатических и биогеохимических изменений, зафиксированных в геологической летописи как глобальные события.

Литература

- Бибикова Е.В.*, Кирицова Т.И., Лазарев Ю.И., и др. U-Pb изотопный возраст вепсы Карелии. // ДАН СССР. Т. 310. № 1. 1990. С. 189–191.
- Коросов В.И.* Геология джэтулийского протерозоя восточной части Балтийского щита (сумий, сариолий). Петрозаводск: Карельский научный центр АН СССР, 1991, 118 с.
- Геология Карелии. Л. «Наука», 1987, 232 с.
- Макарихин В.В.*, *Кононова Г.М.* Фитолиты нижнего протерозоя Карелии. Л., «Наука» 1983, 180 с.
- Макарихин В.В.*, *Медведев П.В.*, *Сацук Ю.И.* Расчленение и корреляция ятулия стратотипической местности // Очерки геологии докембрия Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. С. 72–83.
- Негруца В.З.* К созданию хронособытийной модели эонотемы // Вестник МГТУ. Т 12. № 3. 2009. С. 371–385.
- Корень Т.Н.* Международная стратиграфическая шкала докембрия и фанерозоя: принципы построения и современное состояние. СПб.: зд-во ВСЕГЕИ, 2009. 40 с.
- Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка, Апатиты; Изд. КНЦ РАН, 2002, 13с.
- Проблемы стратиграфии нижнего протерозоя Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. 159 с.
- Ранний докембрий Балтийского щита // под ред. В.А. Глебовицкого. СПб. «Наука». 2005. 711 с.
- Решение III Всероссийского совещания "Общие вопросы расчленения докембрия" // Стратиграфия. Геол. корр. Т. 9. № 3. 2001. С. 101-106.
- Сацук Ю.И.*, *Макарихин В.В.*, *Медведев П.В.* Геология ятулия Онего-Сегозерского водораздела. Л., «Наука», 1988, 96 с
- Семихатов М.А.*, *Раабен М.Е.*, *Сергеев В.Н.*, *Вейс А.Ф.*, *Артемова О.В.* Биотические события и положительная изотопная аномалия карбонатного углерода 2.3-2.06 млрд. лет назад // Стратигр. Геологич. Корреляция. Т. 7. № 5. 1999. С. 3–27.
- Семихатов М.А.*, *Шуркин К.А.*, *Аксенов Е.М.* Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 4. 1991. С. 3–16
- Стратиграфический кодекс. ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2006. 96 с.
- Хейсканен К.И.*, *Рычанчик Д.В.* Ятулийские нижнепротерозойские карбонаты Балтийского щита с аномально тяжелым углеродом: стратиграфическая позиция и палеогеографическое распространение // Стратиграфия. Геологическая корреляция. Т. 7. № 6. 1999. С. 14–19.
- Amelin Yu.V.*, *Heaman L.M.* and *Semenov V.S.* U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the timing and duration of Palaeoproterozoic continental rifting // Precam. Res. 1995. 75: P. 31–46.
- Bekker A.*, *Kaufman A.J.*, *Karhu J.A.*, *Eriksson K.A.* Evidence for Paleoproterozoic cap carbonates in North America // Precambrian Research 137 2005. P. 167–206.
- Eriksson P.G.*, *Catuneanu O.*, *Nelson D.R.*, *Rigby M.J.*, *Bandopadhyay P.C.*, *Altermann W.* Events in the Precambrian history of the Earth; challenges in discriminating their global significance // Marine and Petroleum Geology. 2010.
- Hanski E.* History of stratigraphical research in northern Finland // Geological Survey of Finland. Special Paper. 33. 2001. P. 15-43.
- Kähkönen Y.* Geochemistry and petrology of the metavolcanic rocks of the early Proterozoic Tampere Schist Belt, southern Finland // Geol. Surv. Finl. Bull. Vol. 345. 1989. 104 pp.
- Kähkönen Y.* Svecofennian supracrustal rocks // In Lehtinen M., Nurmi P.A., Rämö O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V. Amsterdam. Developments in Precambrian Geology. Vol. 14. 2005. P. 343–405.
- Karhu J.A.* Paleoproterozoic evolution of the carbon isotope ration of sedimentary carbonates in the Fennoscandian Shield // Geol. Surv. Finland. Bull. 371. 1993. P. 1-87.
- Karhu J.A.* Paleoproterozoic carbon isotope excursion. // In Lehtinen M., Nurmi P.A., Rämö O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V. Amsterdam. 2005. P. 669–680.
- Laajoki K.* Karelian supracrustal rocks. In: Lehtinen M., Nurmi P.A., Rämö O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V., Amsterdam. Developments in Precambrian Geology. Volume 14. 2005. P. 279–342.
- Lehtonen M. I.*, *Manninen T.*, *Rastas P.*, *Räsänen J.* On the early Proterozoic metavolcanic rocks in Finnish Central Lapland // Correlation of Precambrian Formations of the Kola-Karelian Region and Finland. Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. Apatity. 1992. P. 65–85.
- Melezhik V.A. and Sturt B.A.* The Paleoproterozoic (2.5-1.7 Ga) Midcontinent rift system of the northeastern Fennoscandian Shield versus The early Proterozoic Pechenga-Varzuga Belt: a case of back-arc spreading. Discussion // Can. J. Earth Sci. 1998. 35(6). P. 720–725.
- Melezhik, V.A.*, *Fallick, A.E.*, *Hanski E.J.*, *Kump, L.R.*, *Lepland, A.*, *Prave, A.R.* and *Strauss H.* Emergence of the aerobic biosphere during the Archean-Proterozoic transition: Challenges of future research. *Geol. Soc. Am. Today.* 2005. 15: 4–11.
- Melezhik V.A.*, *Huhma H.*, *Condon D.J.*, *Fallick A.E.* and *Whitehouse M.J.* Temporal constraints on the Paleoproterozoic Lomagundi-Jatuli carbon isotopic event. *Geology.* 35. 2007. P. 655–658.
- Melezhik V.V.*, *Lepland A.*, *Romashkin A.E.*, *Rychanchik D.V.*, *Mesli M.*, *Finne T.E.*, *Conze R.* The Great Oxidation Event Recorded in Paleoproterozoic Rocks from Fennoscandia // Scientific Drilling. N 9. April 2010. P. 23-29.
- Ogg J.G.*, *Ogg G.*, *Gradstein F.M.* The concise geological Time Scale // Cambridge University Press. 2008, 175 p.
- Perttunen V.*, *Vaasjoki M.* U-Pb geochronology of the Perapohja Schist Belt, northwestern Finland. In: M. Vaasjoki (Ed.), Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences // Geol. Surv. Finland, Spec. Pap. 33. 2001. P. 45–84.