

УДК 551

ВАРИАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ Th/U В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ ВЕНДА СЕВЕРОВОСТОКА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ, СРЕДНЕГО И ЮЖНОГО УРАЛА КАК ОТРАЖЕНИЕ РЕДОКС-СТАТУСА БАССЕЙНОВ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

© 2017 г. А. В. Маслов¹, В. Н. Подковыров²¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, e-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 11.01.2016 г.; принята к печати 28.03.2016 г.

Ранее нами были рассмотрены особенности изменения окислительно-восстановительных обстановок придонного слоя воды в бассейнах осадконакопления, существовавших в позднем рифее–венде на восточной и северо-восточной (в современных координатах) окраинах Балтики. Сделан вывод, что на фоне локальных, достаточно выраженных вариаций значений ряда индикаторов редокс-обстановок в отложениях верхнего рифея, предполагающих, что накопление осадков в ряде районов происходило в дикоисных или близких к аноксическим условиям, в венде в придонных водах преобладали окислительные обстановки. В настоящей публикации эти представления верифицируются данными о вариациях в глинистых породах венда значений Th/U. Для анализа особенностей изменения указанного параметра использованы аналитические данные, полученные методом ICP-MS в ИГТ УрО РАН (г. Екатеринбург). Всего проанализировано ~380 образцов. Среднее содержание Th во всей выборке глинистых пород составляет 12.0 ± 5.4 г/т, в среднем постаршейском австралийском глинистом сланце (PAAS) и верхней континентальной коре (UCC) оно равно соответственно 14.6 и 10.5 г/т. Для U эти же параметры составляют 2.1 ± 1.1 , 3.1 г/т и 2.7 г/т. Величина Th/U_{cp} для глинистых сланцев венда востока, северо-востока и севера Восточно-Европейской платформы равна 5.8 ± 2.0 (в PAAS и UCC – 4.7 и 3.9). В глинистых породах венда Юго-восточного Беломорья Th/U_{cp} изменяется снизу вверх по разрезу от 5.8 ± 3.4 до 6.9 ± 2.3 без какой-либо определенной закономерности. Глинистые сланцы и аргиллиты венда южной части Вычегодского прогиба имеют значения Th/U_{cp} от 3.5 ± 1.1 до $\approx 5.0 \pm 1.7$. Темноокрашенные глинистые сланцы бутонской свиты серебрянской серии, рассматривавшиеся нами ранее как образования, сформированные в бассейне с отчетливо выраженными бескислородными обстановками осадконакопления, имеют $Th/U_{cp} = 5.9 \pm 1.2$, и, скорее всего, не являются таковыми. Новые данные о распределении значений Th/U в глинистых породах валдайской, серебрянской, сыльвицкой, ашинской, каировской и шкаповской серий, соответствуют представлениям о накоплении указанных осадочных образований в условиях доминирования окислительных обстановок в весьма мелководных седиментационных бассейнах, часть из которых, возможно, и не являлись собственно морскими. Они подчеркивают сложный/нелинейный характер оксигенизации океана, начавшейся в конце позднего рифея и продолжившейся в венде, с инверсией “кислородных обстановок” в некоторых крупных седиментационных бассейнах или их частях в раннем венде, на границе венда и кембрия и собственно в кембрии. Очевидно, что существенное влияние на этот процесс оказывали не только глобальные, но и локальные факторы.

Ключевые слова: редокс-статус осадочных бассейнов, венд, восток, северо-восток и север Восточно-Европейской платформы, отношение Th/U

VARIATIONS OF Th/U VALUES IN VENDIAN CLAYEY ROCKS OF NORTH-EAST EAST-EUROPEAN PLATFORM AND MIDDLE AND SOUTHERN URALS AS REFLECTION REDOX STATUS OF SEDIMENTARY BASINS

Andrey V. Maslov¹, Viktor N. Podkovyrov²¹A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016, Russia, e-mail: amas2004@mail.ru²Institute of Precambrian Geology and Geochronology, RAS, 2 Makarova emb., St-Petersburg, 199034, Russia, e-mail: vpodk@mail.ru

Received 11.01.2016; accepted 28.03.2016

Для цитирования: Маслов А.В., Подковыров В.Н. (2017) Вариации величины Th/U в глинистых породах венда северо-востока Восточно-Европейской платформы, Среднего и Южного Урала как отражение редокс-статуса бассейнов осадконакопления. *Литосфера*, 17(6), 23-39. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-6-023-039

For citation: Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2017) Variations of Th/U values in Vendian clayey rocks of north-east East-European Platform and Middle and Southern Urals as reflection redox status of sedimentary basins. *Litosfera*, 17(6), 23-39. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-6-023-039

Earlier, we considered the features of the redox changes in the near-bottom layer of water in the sedimentation basins that existed during the Late Riphean and Vendian in the eastern and northeastern (in modern coordinates) margins of the Baltic. It is concluded that fairly pronounced variations in the values of a number of redox environment indicators in the Upper Riphean deposits suggested that accumulation of sediments in some regions occurred in dysoksia or close to anoxic conditions. Opposite in the Vendian oxidation conditions predominated in the near-bottom waters. In the present publication, these representations are verified by data on variations in Vendian clay rocks of the Th/U values. Analytic data obtained by ICP-MS in IGG UB RAS (Ekaterinburg) were used to analyze the features of the change in this parameter. A total of ≈ 380 samples of shales and mudstones were analyzed. The average Th content in these samples is 12.0 ± 5.4 ppm, in average post-Achaean Australian shale (PAAS) and upper continental crust (UCC) are 14.6 and 10.5 ppm, respectively. For U, the same parameters are 2.1 ± 1.1 , 3.1 and 2.7 ppm. The value of $\text{Th}/\text{U}_{\text{av}}$ for the Vendian shales of the east, northeast and north of the East European platform is equal to 5.8 ± 2.0 (in PAAS and UCC – 4.7 and 3.9 respectively). In the clay rocks of the Vendian of the Southeast White Sea, $\text{Th}/\text{U}_{\text{av}}$ varies from below upward along the cross section from 5.8 ± 3.4 to 6.9 ± 2.3 without any definite regularity. The Vendian shales and mudstone of the southern part of the Vychegda trough have the $\text{Th}/\text{U}_{\text{av}}$ value from 3.5 ± 1.1 to $\approx 5.0 \pm 1.7$. Dark-colored low carbonaceous shales of the Buton Formation of the Lower Vendian Serebryanka Group (the Middle Urals), which we considered earlier as deposits formed in a basin with distinctly oxygen-free sedimentation conditions, have the $\text{Th}/\text{U}_{\text{av}}$ 5.9 ± 1.2 , and, most likely, do not refer to sediments of stagnant environments. The new data on the distribution of Th/U values in the clayey rocks of the Valdai, Serebryanka, Sylvitsa, Asha, Kairovo and Shkapovo groups correspond to the idea of the accumulation of these sedimentary formations under conditions of dominance of oxidation environments in very shallow sedimentary basins, some of which may not were actually marine. They emphasize the complex/non-linear nature of oxygenation of the ocean, which began at the end of the Late Riphean and continued in the Vendian, with the inversion of “oxygen environments” in some large sedimentary basins or parts of them in the Early Vendian, to the Vendian and Cambrian boundary, and actually in the Cambrian. Obviously, not only global, but also local factors had a significant impact on this process.

Keywords: *redox status of sedimentary basins, Vendian, east, northeast and north periphery of the East European platform, Th/U ratio*

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project nos. 14-05-00415 and 15-05-01512.

ВВЕДЕНИЕ

Полученные по данным анализа валового химического состава глинистых пород значения Th/U являются независимой оценкой локальных окислительно-восстановительных обстановок бассейнов осадконакопления [Adams, Weaver, 1958; Jones, Manning, 1994; Brennecka et al., 2011; Zhang et al., 2015]. Торий имеет только одну валентность (4+), и его концентрация в осадках не зависит от редокс-параметров среды. Уран, наоборот, принадлежит к категории элементов, чувствительных к вариациям окислительно-восстановительных характеристик водной колонны или поровых флюидов осадка (Redox Sensitive Trace Elements, RST-элементы), и, обладая в восстановительных обстановках валентностью 4+, удаляется из морской воды в осадки [Anderson et al., 1989; Morford, Emerson, 1999; McManus et al., 2006]. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что в окислительных фациях значения параметра Th/U будут сходны с его величиной в континентальной коре (континентальная кора в целом – $\text{Th}/\text{U} = 4.31$, верхняя континентальная кора – $\text{Th}/\text{U} = 3.89$ [Rudnick, Gao, 2003]), тогда как преимущественное выведение U в осадок в аноксических обстановках способствует снижению Th/U. В частности, в черных сланцах зон апвеллинга Намибийского шельфа величина Th/U составляет порядка 0.34 [Brongersma-Sanders et al., 1980; Brumsack, 2006], а в аналогичных образованиях базальных горизонтов кембрия Северо-

Таримского бассейна, Северо-Западный Китай, она варьирует от 0.02 до 0.31 [Yu et al., 2009]. Черные сланцы раннекембрийской формации Hetang, южные районы провинции Anhui, Южный Китай, имеют разброс значений Th/U от 0.06 до 0.51 [Zhou, Jiang, 2009], а например, верхнефаменские черные сланцы формации Annulata, горы Holy Cross, Южная Польша, демонстрируют значения данного параметра, изменяющиеся от 0.3 до 1.8 [Racka et al., 2010].

Ранее нами [Маслов, Подковыров, 2015] были проанализированы особенности изменения редокс-обстановок придонного слоя воды в бассейнах осадконакопления, существовавших в позднем рифее–венде на восточной и северо-восточной (в современных координатах) окраинах Балтики. Сделан вывод, что на фоне локальных, достаточно выраженных вариаций значений ряда индикаторов редокс-обстановок в позднем рифее (прежде всего коэффициента стагнации, Mo/Mn , и в меньшей степени – $\text{V}/(\text{V} + \text{Ni})$), свидетельствующих, что накопление осадков в ряде районов происходило в том числе в дизоксидных или близких к аноксическим условиям, в венде и, по всей видимости, в конце позднего рифея, в придонных водах практически всех бассейнов преобладали окислительные обстановки. Наиболее убедительно этот вывод обоснован данными по верхнерифейско-вендскому, относительно хорошо датированному, интервалу разреза западного склона Южного Урала, несколько менее корректен он для других частей рассмо-

тренной нами территории. Новые данные в той или иной мере подчеркивают сложный, нелинейный/скачкообразно-постепенный характер оксигенизации океана в позднем рифее и венде, с инверсией “кислородных обстановок” в некоторых крупных седиментационных бассейнах или их частях в раннем венде, на границе венда и кембрия и собственно в кембрии. Представляется, однако, что существенное влияние на этот процесс оказывали не только глобальные, но и локальные факторы. В настоящей работе эти представления верифицируются данными о вариациях Th/U в глинистых породах венда.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ВЕНДСКИХ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Осадочные образования венда прослеживаются вдоль всей северной, северо-восточной и восточной периферии Восточно-Европейской платформы [Келлер, 1963; Аксенов и др., 1983; Аксенов, 1985; Соколов, 1997; и др.]. На северо-западе Мезенской синеклизы естественные разрезы венда можно видеть в Юго-восточном Беломорье (рис. 1). По данным Д.В. Гражданкина [2003], они расчленяются на лямицкую, верховскую, зимнегорскую и ергинскую свиты (рис. 2). Лямицкая свита сложена толщей тонкого ритмичного переслаивания алевролитов и глин, среди которых присутствуют проградационные клинья сероцветных песчаников. Верховская свита представлена пачками тонкослоистых глин, интервалами переслаивания алевролитов и глин, песчаниками, алевролитами. Зимнегорская свита включает пестроцветные пачки тонко-слоистых глин, линзы гравелитов и конгломератов, а также пачки переслаивания кварцевых песчаников, алевролитов и глин. В ее разрезах присутствуют также тонкослоистые пестроцветные глины, содержащие прослойки вулканических пеплов. Ергинская свита представляет собой переслаивание песчаников, алевролитов и глин пестрой окраски.

На юго-востоке Мезенской впадины, в Вычегодском прогибе, достаточно полный разрез верхней части верхнего рифея и венда вскрыт скв. Кельтменская 1 [Подковыров и др., 2011; Голубкова и др., 2015]. К редкинскому горизонту верхнего венда в разрезе указанной скважины относятся породы интервала 2790 (80)–2309 м (вычегодская свита) (см. рис. 2). Интервал 2309–1725 м (усть-пинежская и красавинская свиты) принадлежит беломорскому горизонту, а интервал 1725–1330 м (мезенская свита) – котлинскому.

На западном склоне Среднего Урала к венду относятся осадочные и вулканогенно-осадочные образования серебрянской и сыльвицкой серий [Аблизин и др., 1982; Стратотип..., 1983; Стратиграфические..., 1993]. Серебрянская серия объединяет

танинскую, гаревскую, койвинскую, бутонскую и керносскую свиты. Танинская свита сложена диамиктитами, полевошпат-кварцевыми песчаниками, гравелитами, алевролитами и глинистыми сланцами; подчиненную роль в ее разрезах играют измененные вулканогенные породы. Возраст диамиктитов моложе U-Pb возраста цирконов (598.1 ± 6.0 млн лет) из покровов базальтов, присутствующих в нижней части свиты [Маслов и др., 2013]. Гаревская свита объединяет мелкозернистые песчаники и глинистые сланцы. Койвинская свита представлена чередованием филлитовидных пестро- и красноцветных сланцев, алевролитов и пестроцветных известняков и доломитов. Бутонская свита сложена низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с прослоями алевролитов и мелкозернистых кварцевых и полевошпат-кварцевых песчаников. Керноская свита включает полевошпат-кварцевые песчаники с прослоями гравелитов и филлитовидных алевро-глинистых пород. Rb-Sr возраст присутствующих в верхней части керносской свиты трахиандезитов дворцевого комплекса оценивается в 559 ± 16 млн лет, а формирование пикритобазальтов, трахибазальтов и трахиандезитов происходило, возможно, 569 ± 42 млн лет назад (Sm-Nd метод) [Карпухина и др., 2001].

Сыльвицкая серия включает старопечнинскую, перевалокскую, чернокаменскую и усть-сылвицкую свиты (см. рис. 2). Старопечнинская свита представлена диамиктитами, темноокрашенными песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Перевалокская свита объединяет темно-серые аргиллиты, песчаники и гравелиты. Выше наблюдается мощная последовательность зеленовато-серых мелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, выделяемая в чернокаменскую свиту. Предыдущие исследователи [Аблизин и др., 1982] расчленяли чернокаменскую свиту на две подсвиты. В работах последних лет [Гражданкин и др., 2009, 2010] выявлено более сложное строение указанного литостратиграфического подразделения. Установлено, что во всех разрезах свита распадается на ряд подсвит, различающихся набором литотипов и характером цикличности: вилухинскую, шурышскую, черемуховскую, синекаменскую, коноваловскую, крутихинскую и кобылоостровскую. Завершают разрез сыльвицкой серии полимиктовые и полевошпат-кварцевые песчаники с маломощными прослоями алевролитов и аргиллитов усть-сылвицкой свиты.

На западном склоне Южного Урала к венду традиционно относится ашинская серия [Келлер, 1963; Стратотип..., 1983; Стратиграфические..., 1993]. Она объединяет бакеевскую, урюкскую, басынскую, куккараукскую и зиганскую свиты [Маслов, 2014 и ссылки в этой работе; Сергеева, Пучков, 2015]. Бакеевская свита сложена табачными и зеленовато-серыми песчаниками, в том числе ча-

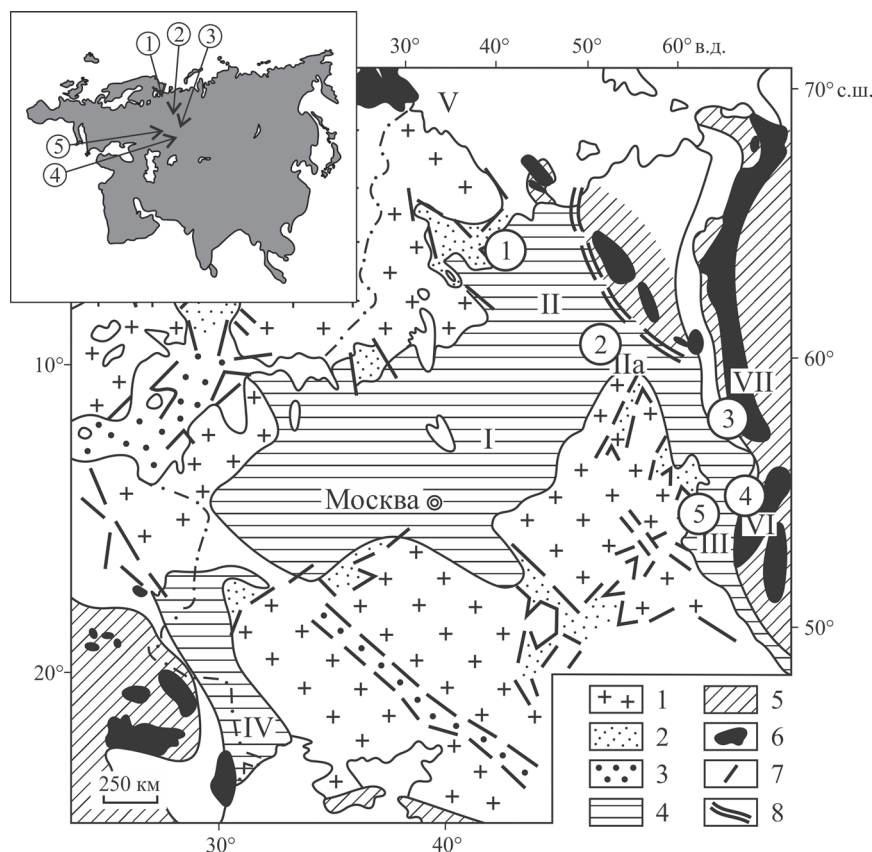


Рис. 1. Вендская структура Восточно-Европейской платформы и ее северо-восточного обрамления, по [Аксенов, 1998] с некоторыми изменениями.

1 – щиты, массивы и антеклизы; 2 – рифейские грабенообразные прогибы установленные; 3 – то же предполагаемые; 4 – синеклизы и впадины (I – Московская; II – Мезенская; IIa – Вычегодский прогиб; III – Шкаповско-Шиханская; IV – Львовско-Кишиневская/Днестровский перикратон; V – Баренцевоморская); 5 – складчатые сооружения Карпат, Горного Крыма, Кавказа, Урала (VI – Башкирский мегантиклинорий; VII – Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий) и Тиман; 6 – выходы образований докембрия в обрамлении платформы; 7 – разрывные нарушения; 8 – фронт Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса.

Цифры в кружках – исследованные разрезы: 1 – Юго-восточное Беломорье, скв. Тучкино 1000; 2 – Вычегодский прогиб, скв. Кельтминская 1; 3 – западный склон Среднего Урала; 4 – западный склон Южного Урала; 5 – Шкаповско-Шиханская впадина.

Fig. 1. The Vendian structure of the East European platform and its north-eastern periphery, according to [Aksenov, 1998] with some changes.

1 – shields, massifs and anteklises; 2 – Riphean graben-like depressions established; 3 – the same ones supposed; 4 – synclises and basins (I – Moscow, II – Mezen, IIa – Vychehda basin, III – Shkapovo-Shikhan, IV – Lviv-Kishinev depression/Dniester pericraton, V – Barents Sea); 5 – folded structures of the Carpathians, the Mountainous Crimea, the Caucasus and the Urals (VI – Bashkir megantyclinorium, VII – Kvarkushsko-Kamennogorsk megantyclinorium) and Timan; 6 – outcrops of Precambrian formations in the periphery of the platform; 7 – faults; 8 – the front of the Canino-Timan fold-thrust belt.

Figures in the circles – the investigated cross sections: 1 – Southeast White Sea area, borehole Tuchkino 1000; 2 – Vychehda basin, borehole Keltminskaya 1; 3 – the western slope of the Middle Urals; 4 – the western slope of the Southern Urals; 5 – Shkapovo-Shikhan depression.

сто ожелезненными, алевролитами с глауконитом и глинистыми сланцами. Rb-Sr возраст глауконита из песчаников составляет 617 ± 12 млн лет. Урюкская свита объединяет светло- и розовато-серые песчаники, алевролиты, гравелиты и конгломераты. Басинская свита представлена преимущественно серыми и зеленовато-серыми песчаниками, переслаивающимися с пестроцветными алевролитами и гли-

нистыми сланцами. Куккараукская свита сложена конгломератами, песчаниками и алевролитами. Зиганская свита объединяет серо- и зеленоцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты и гравелиты.

В Шкаповско-Шиханской впадине отложения рассматриваемого нами интервала представлены каировской и шкаповской сериями, традиционно считающимися верхневендскими [Стратотип...,

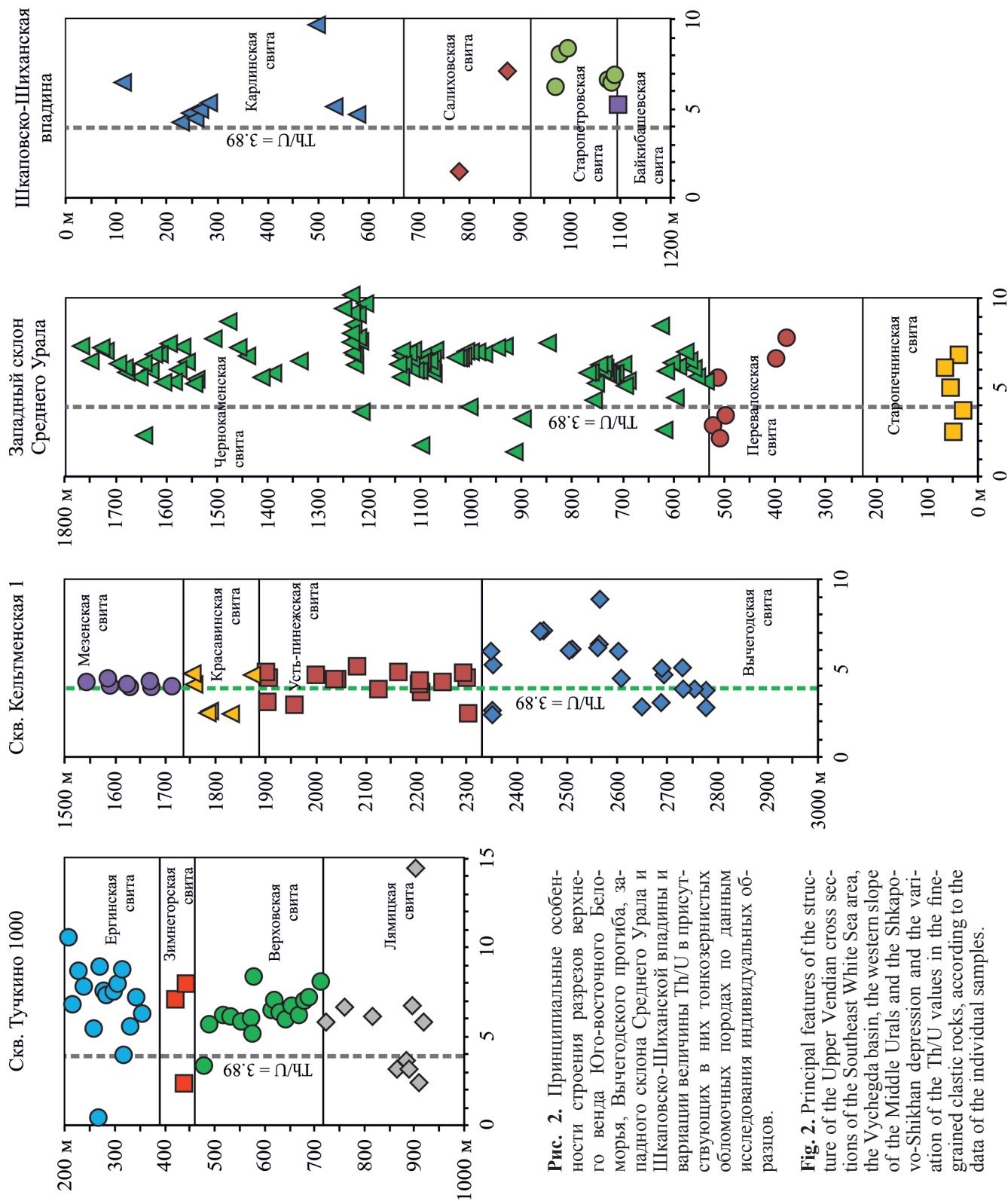


Рис. 2. Принципиальные особенности строения разрезов верхнего венда Юго-восточного Белого моря, Вытегодского прогиба, западного склона Среднего Урала и Шкаповско-Шиханской впадины и вариации величины Th/U в присутствующих в них тонкозернистых обломочных породах по данным исследования индивидуальных разрезов.

Fig. 2. Principal features of the structure of the Upper Vendian cross sections of the Southeast White Sea area, the Vytegdga basin, the western slope of the Middle Urals and the Shkapolovo-Shikhan depression and the variation of the Th/U values in the fine-grained clastic rocks, according to the data of the individual samples.

1983; Аксенов, 1998; Стратиграфическая..., 2000; и др.]. Каировская серия объединяет байкибашевскую и старопетровскую свиты, шкаповская – салиховскую и карлинскую (см. рис. 2). В нижней части байкибашевской свиты доминируют разно- и крупнозернистые песчаники с прослоями гравийного материала и редкими галечками калиевых полевых шпатов, жильного кварца и кристаллических пород, встречаются прослои гравелитов. В верхней части преобладают алевропесчаники с многочисленными тонкими пропластками алевроаргиллитов. Старопетровская свита сложена зеленовато-серыми, реже буровато-коричневыми алевролитово-аргиллитовыми породами, содержащими переменное количество песчаного материала. Салиховская свита включает буровато- и красновато-коричневые, а также зеленовато-серые песчаники и алевролиты с подчиненными прослоями пестроцветных аргиллитов. Карлинская свита представлена преимущественно зеленовато-серыми аргиллитами, содержащими микропрослои, прослои и пакеты более светлоокрашенных алевролитов и редко песчаников. В начале 2000-х гг. в данной структуре было предложено выделять также нижневендскую сергеевскую свиту [Козлов и др., 2004], но до настоящего времени вопрос о стратиграфической принадлежности указанного подразделения остается, по всей видимости, недостаточно проработанным. Так, в публикации Н.Д. Сергеевой, В.Н. Пучкова [2015, с. 16] на одной и той же странице в одном случае указано, что “в составе венда в Шкапово-Шиханской впадине выделены нижневендские отложения (сергеевская свита), с размывом залегающие на отложениях верхнего и терминального рифея, и верхневендские – байкибашевская и старопетровская (каировская серия)...”, т. е. можно сделать вывод, что сергеевская свита не принадлежит каировской серии, а в другом случае отмечается, что “В Шкапово-Шиханской впадине к нижнему венду отнесена сергеевская свита каировской серии”.

По данным сейсмостратиграфических исследований [Лозин, Хасанов, 1991; Verzin et al., 1996; Echtler et al., 1996; Глубинное..., 2001], верхневендские осадочные образования Шкаповско-Шиханской впадины сменяются по системе складчатонадвиговых дислокаций отложениями ашинской серии Башкирского мегантиклинория. Байкибашевская свита Шкаповско-Шиханской впадины традиционно сопоставляется с урюкской свитой западного склона Южного Урала, старопетровская свита – с басинской. Салиховской свите в Башкирском мегантиклинории отвечает куккараукская свита, а карлинской – зиганская [Стратотип..., 1983; Стратиграфическая..., 2000; Сергеева, Пучков, 2015].

Принадлежность всех перечисленных литостратиграфических подразделений к региоярусам/

ярусам венда принята в соответствии с работой Д.В. Гражданкина и А.В. Маслова [2015]¹. При этом к лапландскому горизонту на западном склоне Среднего Урала отнесены танинская, гаревская, койвинская и, возможно, бутонская свиты; бакеевская свита Башкирского мегантиклинория, исходя из данных об изотопном возрасте присутствующего в ее разрезах глауконита, имеет, скорее всего, верхнерифейский возраст. Видимого перерыва между ней и урюкской свитой в естественных разрезах нет. Однако, по представлениям Д.В. Гражданкина (2016 г., устное сообщение), к геологическим данным, позволяющим предполагать наличие существенного перерыва между бакеевской свитой и ашинской серией относятся следующие: во-первых, фациально-генетические особенности отложений (глауконитовые песчаники, песчаники с гематитовым цементом, диамиктиты, карбонатные породы), указывающие на принадлежность бакеевской свиты (в стратотипе) к отдельной осадочной системе; во-вторых, достаточно локальное развитие бакеевской свиты в отличие от остальной ашинской серии, что позволяет предполагать различные типы осадочных бассейнов, которые один в другой плавно эволюционировать не могут (глубокая врезанная долина в одном месте и признаки палеокарста на этом же уровне – в другом); в-третьих, на перерыв указывают изотопно-геохронологические данные о возрасте отложений. Этому не противоречит также распределение ископаемых остатков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа особенностей изменения Th/U в тонкозернистых алюмосиликокластических образованиях венда указанных крупных структур мы использовали данные о содержаниях в них тория и урана, полученные в разные годы методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). Выводы о составе размывавшихся в венде на палеовосборах комплексов пород сделаны с применением содержания в тех же породах тория и скандия (метод определения тот же, общие сведения о нем можно найти в [Маслов и др., 2004, 2011]). Всего проанализировано почти 380 образцов. Данные о средних, минимальных и максимальных значениях содержания перечисленных элементов в глинистых породах литостратиграфических подразделений приведены в табл. 1.

Среднее содержание Sc во всем проанализированном нами массиве данных составляет $15.24 \pm$

¹ Возраст нижней границы лапландского климатолита в указанной работе [Гражданкин, Маслов, 2015] принят на уровне 600 млн лет (при этом венд рассматривается как верхний отдел эдиакария), тогда как авторы несколько более поздней публикации [Семихатов и др., 2015] проводят ее на отметке 640 ± 5 млн лет.

Таблица 1. Средние, минимальные и максимальные содержания Sc, Th, U, г/т, и значения Th/U в тонкозернистых обломочных/глинистых породах разных литостратиграфических подразделений и в целом по исследованному массиву данных

Table 1. The mean, minimum and maximum contents of Sc, Th, U, ppm, and Th/U values in fine-grained detrital/clay rocks of different lithostratigraphic subdivisions and in general from the investigated data array

Элемент	Каринская (n = 9)	Салиховская* (n = 2)	Старопетровская (n = 6)	Байкишевская* (n = 1)	Вычегодская (n = 22)	Усть-пинейская (n = 18)	Красавинская (n = 6)	Мезенская (n = 8)
Sc	9.17 ± 5.44 5.44–17.05	18.43	16.70 ± 1.69 14.29–19.02	3.29	13.95 ± 3.78 7.10–19.89	11.69 ± 3.21 5.28–18.07	11.59 ± 2.81 8.95–15.14	11.86 ± 1.95 9.59–15.85
Th	9.15 ± 8.49 8.49–29.39	16.81	14.17 ± 0.83 12.78–15.26	2.63	11.60 ± 3.36 3.98–16.43	7.99 ± 3.47 3.94–16.75	5.35 ± 1.74 3.85–8.42	6.40 ± 1.61 5.31–10.28
U	1.50 ± 0.92 0.92–3.03	7.47	2.03 ± 0.29 1.53–2.24	0.50	2.47 ± 0.78 1.26–3.97	2.17 ± 1.59 1.05–6.76	1.55 ± 0.22 1.20–1.79	1.55 ± 0.42 1.24–2.56
Th/U	5.53 ± 1.69 1.69–9.71	4.29	7.09 ± 0.89 6.22–8.34	5.23	4.98 ± 1.71 2.41–8.90	4.09 ± 0.81 2.48–5.17	3.50 ± 1.10 2.47–4.71	4.14 ± 0.16 3.95–4.43
	Танинская (n = 20)	Гаревская (n = 4)	Койвинская (n = 26)	Бутонская (n = 6)	Керноская (n = 12)	Старопечнинская (n = 5)	Переваловская (n = 6)	Чернокаменская (n = 127)
Sc	7.84 ± 4.16 0.67–16.63	19.67 ± 2.01 17.67–22.33	15.27 ± 7.04 4.96–44.84	12.06 ± 6.29 2.46–18.66	7.47 ± 4.80 2.81–19.38	12.78 ± 5.00 6.64–19.75	23.89 ± 7.15 17.40–37.27	19.11 ± 4.74 6.71–43.43
Th	7.85 ± 4.34 1.41–15.26	15.16 ± 2.43 13.17–18.68	12.55 ± 6.74 2.52–38.13	10.92 ± 5.69 1.87–16.83	7.17 ± 3.79 0.89–13.32	10.72 ± 3.90 5.79–15.72	9.79 ± 4.99 5.92–11.42	15.15 ± 4.10 1.61–22.93
U	1.66 ± 0.63 0.73–3.06	1.88 ± 0.29 1.57–2.18	2.01 ± 1.27 0.79–6.11	1.89 ± 1.18 0.33–3.92	1.73 ± 1.01 0.35–4.32	2.31 ± 0.70 1.55–3.21	2.11 ± 0.42 1.58–2.80	2.34 ± 0.67 1.13–7.36
Th/U	4.63 ± 1.90 1.40–8.46	8.07 ± 0.70 7.04–8.59	7.07 ± 2.73 0.85–10.51	5.95 ± 1.22 4.30–7.25	4.97 ± 3.15 0.81–10.61	4.84 ± 1.76 2.50–6.86	4.74 ± 2.25 2.15–7.76	6.53 ± 1.43 1.36–10.25
	Ергинская (n = 16)	Зимнегор- ская* (n = 3)	Верховская (n = 22)	Лямыцкая (n = 6)	Бакеевская (n = 4)	Басинская (n = 21)	Зиганская (n = 29)	Среднее для всех
Sc	15.45 ± 4.12 6.07–22.71	12.10	16.48 ± 3.46 7.60–22.77	14.87 ± 5.93 5.82–26.57	13.88 ± 1.48 12.07–15.42	21.95 ± 2.56 17.72–27.09	14.94 ± 3.31 9.50–21.74	15.24 ± 6.43 0.67–44.84
Th	12.39 ± 3.82 3.07–17.44	10.79	12.10 ± 2.84 5.67–19.12	8.65 ± 6.35 2.85–23.87	14.41 ± 0.86 13.35–15.46	13.52 ± 1.56 11.26–17.22	12.27 ± 1.80 8.71–16.03	12.03 ± 5.43 0.89–38.13
U	2.69 ± 3.89 0.78–17.23	1.99	1.94 ± 0.46 1.38–3.08	1.43 ± 0.43 0.79–2.27	2.57 ± 0.26 2.28–2.80	2.12 ± 0.47 1.56–3.37	2.15 ± 0.63 1.51–4.24	2.13 ± 1.10 0.33–12.87
Th/U	6.91 ± 2.34 0.40–10.56	5.79	6.33 ± 1.13 3.37–8.37	5.78 ± 3.44 2.39–14.44	5.65 ± 0.66 4.76–6.26	6.53 ± 0.86 4.96–8.26	5.96 ± 1.14 3.24–7.92	5.85 ± 2.00 0.81–10.61

*Средние значения. Примечание. В числителе – среднее и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения; n – число проанализированных образцов.

*Average values. Note. In the numerator – the mean and standard deviation, in the denominator the minimum and maximum values; n is the number of samples analyzed.

± 6.43 г/т (минимальная концентрация – 0.67, максимальная – 44.84 г/т). В среднем постархейском австралийском глинистом сланце (РААС) содержание скандия составляет 16 г/т [Тейлор, МакЛеннан, 1988], а в верхней континентальной коре (УСС) – 14 г/т [Rudnick, Gao, 2003]. Для Th те же параметры составляют 12.03 ± 5.43 , 14.6 и 10.5 г/т соответственно. Среднее содержание U в исследованном массиве глинистых пород равно 2.13 ± 1.10 , тогда как в РААС концентрация урана 3.1 г/т, а в верхней континентальной коре 2.7 г/т. Наконец, величина Th/U_{cp} составляет для глинистых сланцев венда востока, северо-востока и севера Восточно-Европейской платформы 5.85 ± 2.00 (минимум – 0.81, максимум – 10.61 г/т), для РААС это отношение равно 4.71, а для УСС – 3.89. Распределение содержания указанный элементов-примесей и величины Th/U в индивидуальных образцах показано на рис. 3. На нем же можно видеть средние и стандартное отклонение для всего исследованного массива значения и пределы их изменения.

На диаграмме Sc–Th/Sc [Тейлор, МакЛеннан, 1988] (рис. 4) подавляющая часть точек состава проанализированных нами образцов глинистых пород тяготеет к среднему составу гранодиоритов и УСС, что можно рассматривать как указание на существенную схожесть состава размывавшихся на палеоводосборах в венде комплексов пород, хотя из сказанного есть и ряд исключений. Так, часть точек глинистых сланцев и аргиллитов чернокаменной свиты характеризуется достаточно высоким содержанием скандия и включают заметную долю продуктов размыва пород среднего и основного состава, а часть глинистых пород тининской и керносской свит, напротив, обладает повышенной долей продуктов размыва пород кислого состава. В целом мы предполагаем, что концентрация тория в глинистых породах нашего банка данных в той или иной мере отражает его концентрацию в породах-источниках сноса, а содержание урана в основном контролируется окислительно-восстановительными обстановками в областях осадконакопления.

ВАРИАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ Th/U В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ

Вариации величины Th/U мы рассмотрели вначале для тех регионов, для которых есть сведения о точном положении в стратиграфической последовательности индивидуальных образцов глинистых пород. К их числу относятся Юго-восточное Беломорье (скв. Тучкино 1000), Вычегодский прогиб (скв. Кельтменская 1), Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий и Шкаповско-Шиханская впадина. Распределение индивидуальных образцов по разрезу венда двух последних регионов соответствует тому, что было использовано

ранее в работах [Маслов и др., 2006а; Гражданкин и др., 2010], а двух первых – в публикациях [Маслов и др., 2006б; Подковыров и др., 2011].

В скв. Тучкино-1000 в аргиллитах лямической свиты 6 из 10 образцов имеют значения Th/U заметно более высокие, чем это свойственно верхней континентальной коре; для остальных образцов характерны величины Th/U от ≈ 2 до ≈ 4 (см. рис. 2). Подавляющая часть глинистых пород верховской свиты также характеризуется существенно большими, чем в УСС, величинами Th/U. Это можно сказать и о зимнегорской и ергинской свитах. В разрезе последней только один из 16 образцов (обр. 84, глубина 264.6 м) имеет значение Th/U, равное 0.40.

В скв. Кельтменская 1 глинистые породы нижней половины вычегодской свиты обладают значениями Th/U как несколько меньшими, так и несколько большими, чем ≈ 3.9 , свойственное УСС. Примерно такие же величины данного параметра характерны и для самых верхних уровней названной свиты, тогда как глинистые сланцы верхней половины разреза в основном имеют значения Th/U от ≈ 6.0 до ≈ 9.5 (см. рис. 2). Глинистые сланцы и аргиллиты усть-пинежской и мезенской свит обладают величинами Th/U, в существенной мере сходными со значением данного параметра в верхней континентальной коре. Породы красавинской свиты демонстрируют несколько больший диапазон вариаций Th/U, но и минимальные из них составляют более 2.0–2.5.

Глинистые породы старопечнинской и перевалокской свит сылвицкой серии Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория характеризуются разбросом величин Th/U в индивидуальных образцах от ≈ 2 до ≈ 8 (см. рис. 2). Подавляющая часть образцов чернокаменной свиты обладает значениями Th/U от ≈ 4.0 до ≈ 10.0 . Нескольким образцам аргиллитов чернокаменной свиты свойственны величины Th/U < 3.89 , но даже наименьшее значение данного параметра (обр. ск-2) составляет здесь ≈ 1.4 .

Индивидуальные образцы аргиллитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины в подавляющем большинстве характеризуются значениями Th/U > 3.89 (см. рис. 2). Только для обр. иш-7, отобранного из разреза салиховской свиты в скв. Северо-Кушкуль 1 (интервал 1977.4–1985.0 м) [Маслов, 2012], данный параметр равен 1.47.

Обратимся теперь к рассмотрению данных о средних величинах Th/U для свит (рис. 5). В глинистых породах верхнего венда Юго-восточного Беломорья параметр Th/U_{cp} изменяется снизу вверх по разрезу от 5.78 ± 3.44 (лямическая свита) до 6.91 ± 2.34 (ергинская свита) без какой-либо определенной закономерности, что хорошо видно при обращении к анализу средних величин Th/U с учетом значений стандартных отклонений. Глини-

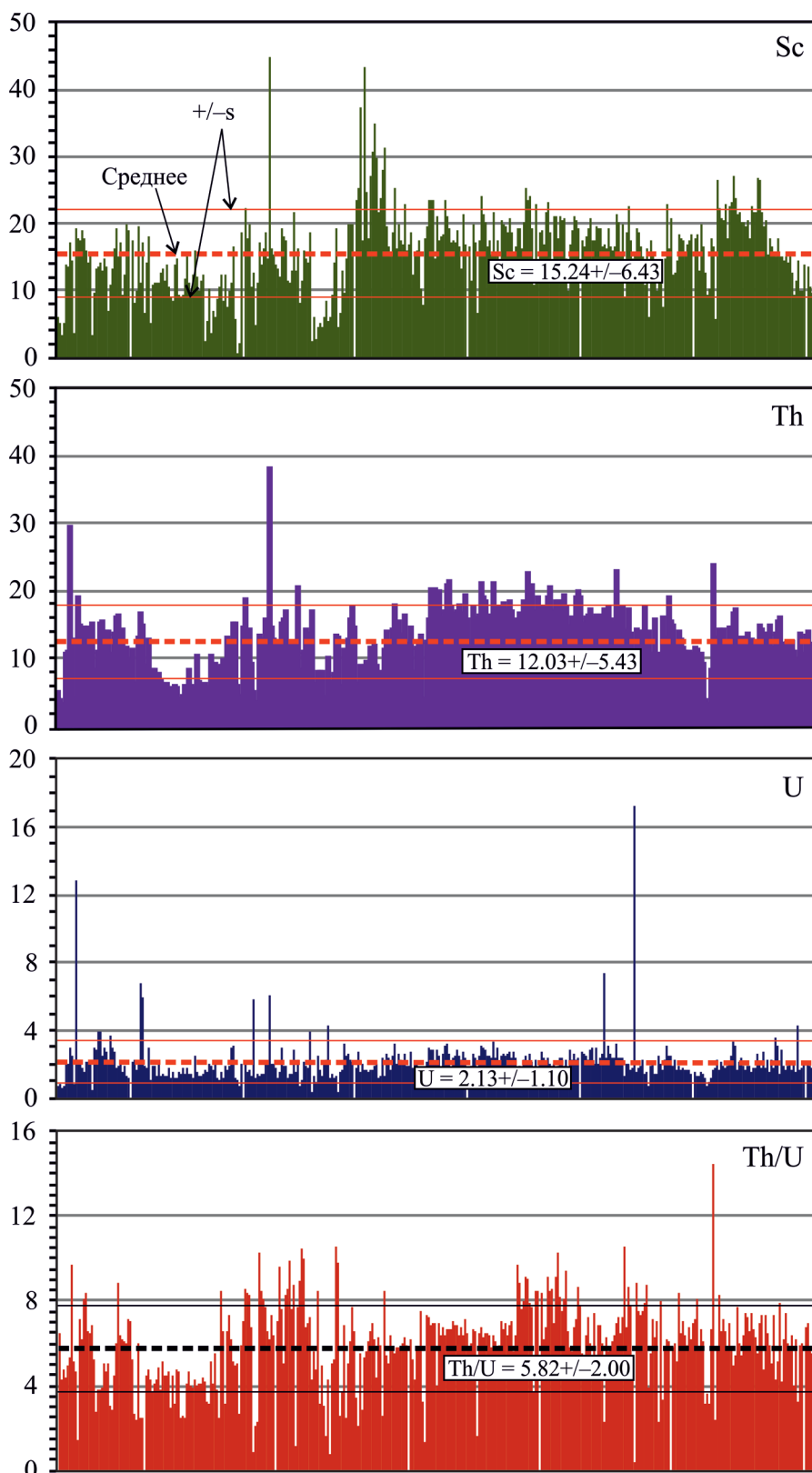


Рис. 3. Распределение содержаний Sc, Th, U (г/т) и величины Th/U в индивидуальных образцах глинистых пород валдайской, серебрянской, сylvицкой, ашинской, каировской и шкаповской серий.

Fig. 3. Distribution of Sc, Th, U (ppm) and Th/U in individual samples of clayey rocks of the Valdai, Serebryanka, Sylvitsa, Asha, Kairovo and Shkapovo groups.

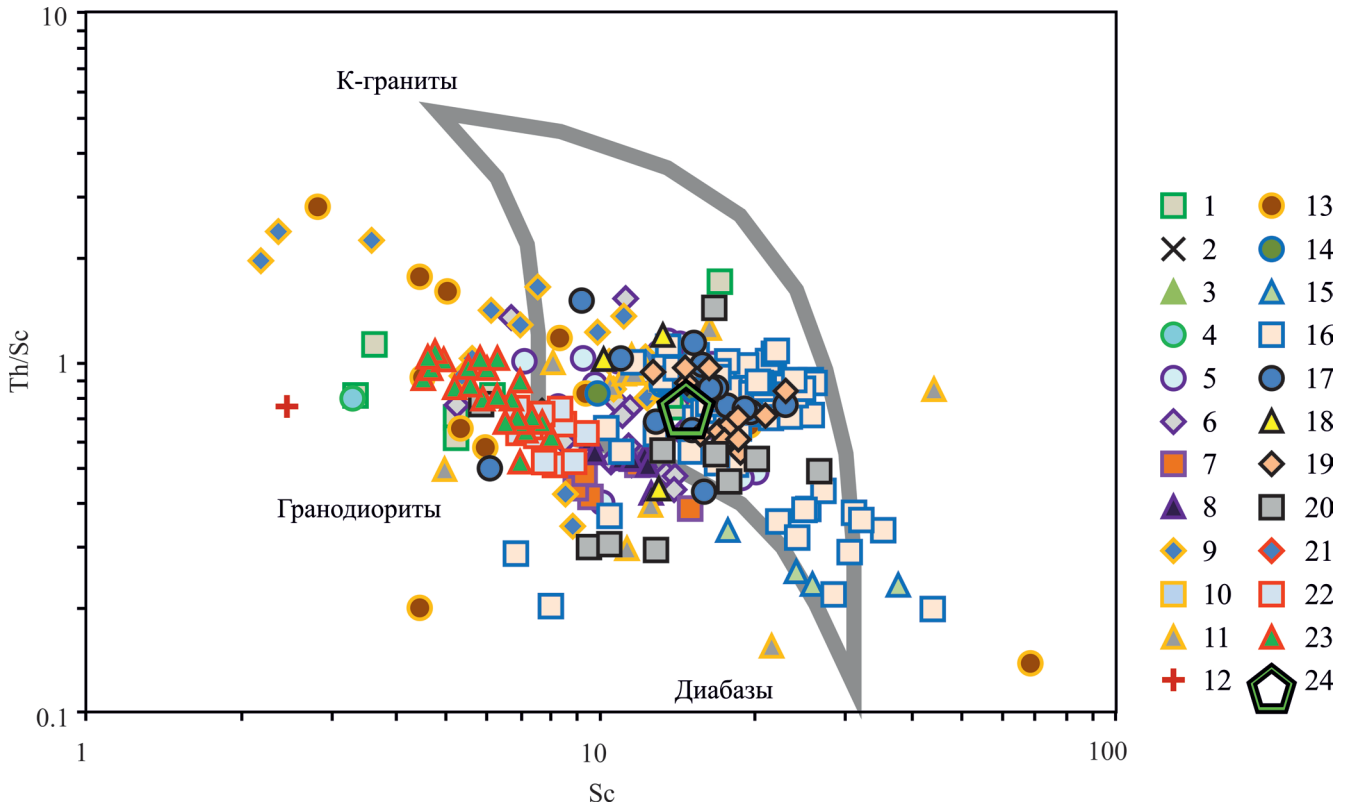


Рис. 4. Положение точек состава глинистых пород валдайской, серебрянской, сыльвицкой, ашинской, каировской и шкаповской серий на диаграмме Sc–Th/Sc.

1–23 – свиты (1 – карлинская; 2 – салиховская; 3 – старопетровская; 4 – байкибашевская; 5 – вычегодская; 6 – усть-пинезская; 7 – красавинская; 8 – мезенская; 9 – танинская; 10 – гаревская; 11 – койвинская; 12 – бутонская; 13 – керноская; 14 – старопечнинская; 15 – перевалокская; 16 – чернокаменная; 17 – ергинская; 18 – зимнегорская; 19 – верховская; 20 – лямицкая; 21 – бাকেевская; 22 – басинская; 23 – зиганская); 24 – UCC.

Fig. 4. The location of the clay rock data points of the Valdai, Serebryanka, Sylvitsa, Asha, Kairovo and Shkapovo groups on the Sc–Th/Sc diagram.

1–23 – formations (1 – Karlin, 2 – Salikhovo, 3 – Staropetrovo, 4 – Baikibashevo, 5 – Vychehga, 6 – Ust-Pinega, 7 – Krasavino, 8 – Mezen', 9 – Tany, 10 – Garevka, 11 – Koiva, 12 – Buton, 13 – Kernos, 14 – Staropechy, 15 – Perevalok, 16 – Chernyi Kamen', 17 – Erga, 18 – Zimmie Gory, 19 – Verkhovka, 20 – Lyamitsa, 21 – Bakeevo, 22 – Basa, 23 – Zigan); 24 – UCC.

стые сланцы и аргиллиты разных свит валдайской серии южной части Вычегодского прогиба имеют значения Th/U_{cp} от 3.50 ± 1.10 (красавинская свита) до 4.98 ± 1.71 (вычегодская свита), что с учетом стандартных отклонений почти не отличается от величины Th/U , характерной для верхней континентальной коры. Наибольшим значением Th/U_{cp} в разрезе серебрянской серии западного склона Среднего Урала обладают глинистые сланцы гаревской свиты (8.07 ± 0.70), тогда как глинистые породы керносского уровня характеризуются величиной данного параметра, почти сопоставимой с той, что присуща UCC (4.07 и 3.89 соответственно). Важно подчеркнуть, что темноокрашенные глинистые сланцы бутонской свиты, рассматривавшиеся нами ранее [Маслов и др., 2003] на основе анализа присущих им величин Mo/Mn , как образования, сформированные в бассейне с от-

четливо выраженными бескислородными обстановками осадконакопления, имеют среднее значение $Th/U = 5.95 \pm 1.22$ и, скорее всего, не могут быть таковыми. Среди глинистых пород сыльвицкой серии минимальным средним значением Th/U обладают глинистые сланцы перевалокской свиты (4.74 ± 2.25), а максимальная величина Th/U_{cp} характерна для аргиллитов коноваловской подсвиты чернокаменной свиты (8.16 ± 1.33). Как видно, все приведенные цифры в той или иной мере выше, чем величина Th/U в верхней континентальной коре. Это же свойственно и средним значениям Th/U для глинистых пород разных литостратиграфических подразделений ашинской серии западного склона Южного Урала (включая и породы бাকেевской свиты, принадлежащей, скорее всего, верхам верхнего рифея), а также каировской и шкаповской серий Шкаповско-Шиханской впадины.

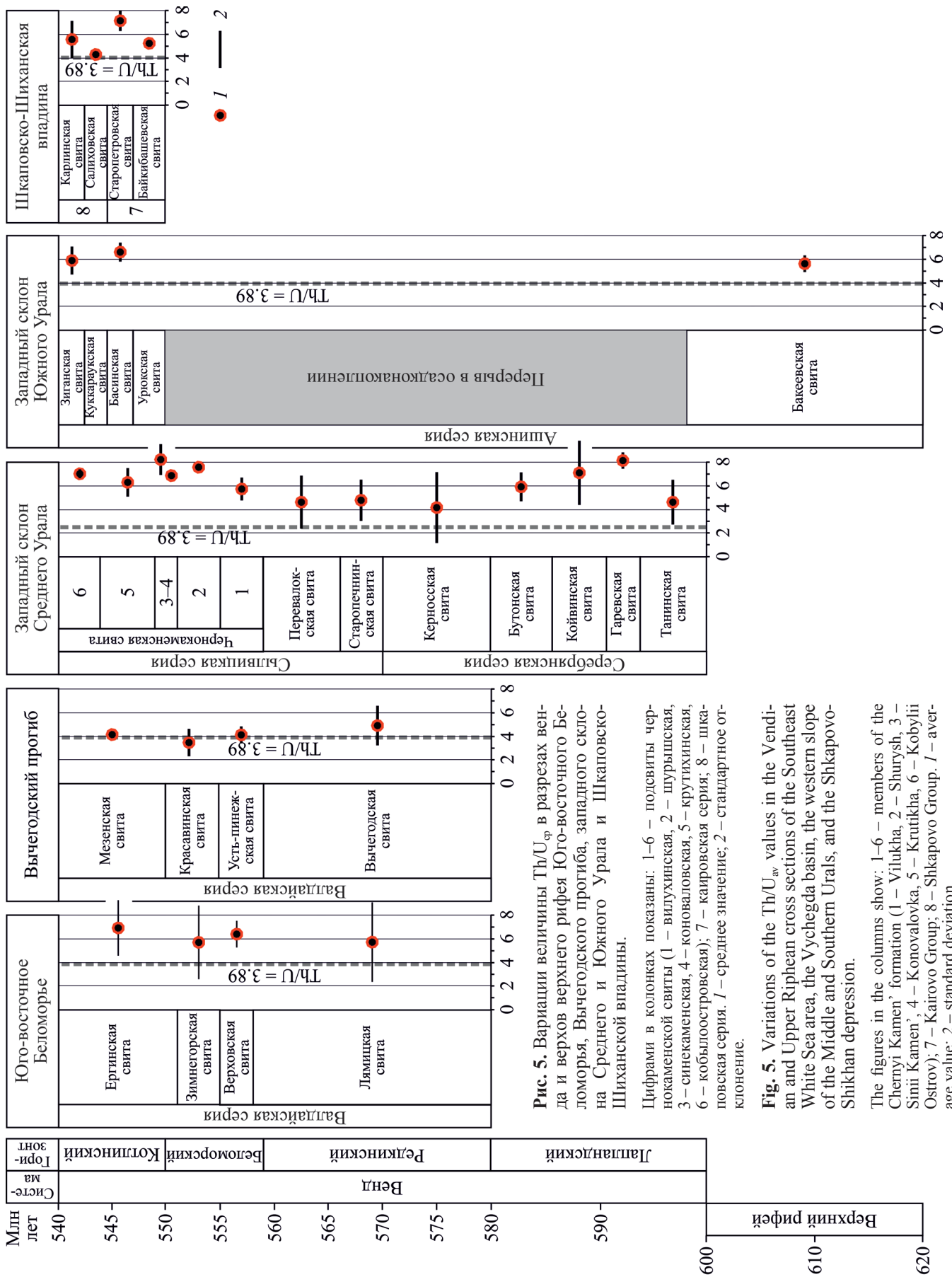


Рис. 5. Вариации величины Th/U_{sp} в разрезах венда и верхов верхнего рифея Юго-восточного Беломорья, Вычегодского прогиба, западного склона Среднего и Южного Урала и Шкаповско-Шиханской впадины.

Цифрами в колонках показаны: 1–6 – подцветы черномкаменской свиты (1 – вилухинская, 2 – шурышская, 3 – синемаменская, 4 – коноваловская, 5 – крутихинская, 6 – кобылоостровская); 7 – кайровская серия; 8 – шкаповская серия; 1 – среднее значение; 2 – стандартное отклонение.

Fig. 5. Variations of the Th/U_{sp} values in the Vendian and Upper Riphean cross sections of the Southeast White Sea area, the Vychegda basin, the western slope of the Middle and Southern Urals, and the Shkapovo-Shikhan depression.

The figures in the columns show: 1–6 – members of the Chernyi Kamen' formation (1 – Vilukha, 2 – Shurysh, 3 – Siniy Kamen', 4 – Konovalovka, 5 – Krutikha, 6 – Kobylii Ostrov); 7 – Kairovo Group; 8 – Shkapovo Group. 1 – average value; 2 – standard deviation.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы процессам окисления поверхности нашей планеты уделено существенное внимание исследователей [Johnston et al., 2012; Partin et al., 2013; Lyons et al., 2014; Thomson et al., 2014; Planavsky et al., 2015; и др.]. Большинство из них считает, что Земля подверглась однонаправленной и длительной оксигенации, а в начале и конце протерозоя повышение содержания O_2 было весьма значительным, хотя и могло иметь достаточно сложный характер. Появление разнообразной и сложно организованной биосферы эдиакария–раннего палеозоя завершило сложную цепочку тектонических, климатических и геохимических изменений, начало которых относится, возможно, к раннему неопротерозою или концу мезопротерозоя. Предполагается, что увеличение концентраций O_2 в морских экосистемах в конце неопротерозоя могло в существенной степени стабилизировать трофические циклы и создать благоприятные для появления и последующей диверсификации сообществ многоклеточных эукариотных организмов/животных [Planavsky et al., 2015]. Именно с концом неопротерозоя связывается так называемый Neoproterozoic Oxygenation Event [Canfield, 2005; Shields-Zhou, Och, 2011; и др.]. На высокую вероятность такого события указывают рост изотопного фракционирования серы между сосуществующими сульфидами и сульфатами [Fike et al., 2006], низкие величины отношения высоко реакционноспособного (Fe^{HR}) и общего (Fe^T) железа [Canfield et al., 2007], заметное обогащение черных сланцев эдиакария RST-элементами [Sahoo et al., 2012] и значительная отрицательная экскурсия $\delta^{13}C_{carb}$ [Fike et al., 2006; McFadden et al., 2008]. В целом, как представляется многим, эдиакарский океан объединял поверхностный, в той или иной мере насыщенный кислородом, слой, относительно тонкий железистый (с преобладанием Fe^{2+})/ferruginous слой, эвксинный (с преобладанием H_2S) клин, сменявшийся глубже вновь железистыми водами [Li et al., 2010; Fan et al., 2014].

Среди рассмотренных нами объектов наибольшей длительностью/непрерывностью (?) формирования (от примерно 600 до 540 млн лет) характеризуются серебрянская и сылвицкая серии западного склона Среднего Урала. На окраине палеоконтинента Балтика (в современных координатах – в пределах Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория) в это время накапливались как разнообразные терригенные толщи, так и умеренно-щелочные вулканы и внедрялись дайки и штоки дворцевого, шпалорезовского, благодатского и кузьинского магматических комплексов [Петров и др., 2005; Петров, 2013]. Вулканические и интрузивные породы перечисленных и ряда других комплексов считают-

ся связанными с процессами рифтогенеза [Бочкарев, Язева, 2000; Ибламинов, Лебедев, 2001, 2006; и др.]. В то же время, по предположению Г.А. Петрова [2013], с учетом представлений о значительных горизонтальных смещениях, связанных с разворотом палеоконтинента Балтика во время формирования указанных магматических комплексов [Torsvik, Cocks, 2005], возможна и иная интерпретация вендско-раннекембрийской палеообстановки: она могла быть сходной с трансформной и связана с началом косоугольной коллизией при формировании Тиманского орогена. В то же время такой подход хотя и "...снимает противоречия между геологическими данными о формировании в вендераннем кембрии аккреционно-коллизийного орогена и внутриплитными геохимическими характеристиками магматических пород этого возраста" [Петров, 2013, с. 57], нуждается в дополнительном обосновании. Накопление верхневендских отложений ашинской, каировской и шкаповской, а также сылвицкой и валдайской серий происходило в структурах, подобных предгорным прогибам, что подробно аргументировано во многих работах [Беккер, 1968, 1988 и др.; Карта..., 1983; Аксенов, 1985 и др.; Гражданкин и др., 2003, 2010 и др.; Пучков, 2000; Курбацкая, 2004; Grazhdankin, 2004; The Neoproterozoic..., 2004; и др.].

Имели ли указанные преимущественно весьма мелководные бассейны хороший водообмен с открытым океаном – сказать трудно. То, что значительная часть отложений верхнего венда западного склона Среднего Урала накапливалась в обстановках пониженной солености [Гражданкин и др., 2010], – факт достаточно известный. Возможно, этот вывод можно распространить и на нижневендские образования нижней и средней частей серебрянской серии, формировавшиеся под влиянием перигляциального климата [Чумаков, 2015]. Все вместе это указывает, видимо, на определенную или существенную изолированность предгорных бассейнов Тиманского орогена от Мирового океана.

Таким образом, сказанное позволяет предполагать, что представленные в настоящей работе данные об особенностях распределения такого параметра окислительно-восстановительных обстановок, как отношение Th/U в тонкозернистых алюмосиликокластических породах валдайской, серебрянской, сылвицкой, ашинской, каировской и шкаповской серий, соответствуют геологическим представлениям о накоплении указанных осадочных образований в условиях доминирования окислительных вод в весьма мелководных седиментационных бассейнах, часть из которых, возможно, и не являлась собственно морскими.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 15-05-01512 и 14-05-00415).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аблизин Б.Д., Ключина М.Л., Курбацкая Ф.А., Курбацкий А.М. (1982) Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 140 с.
- Аксенов Е.М. (1985) Венд Восточно-Европейской платформы. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. *Стратиграфия и геологические процессы* (Отв. ред. Б.С. Соколов, М.А. Федонкин). М.: Наука, 3-34.
- Аксенов Е.М. (1998) История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое. Дис. ... докт. геол.-мин. наук в форме науч. докл. СПб.: ИГГД РАН, 106 с.
- Аксенов Е.М., Морозов С.Г., Солонцов Л.Ф., Казак А.П. (1983) Верхний докембрий Волго-Уральской области. *Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология* (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 107-124.
- Беккер Ю.Р. (1968) Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 160 с.
- Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.
- Бочкарев В.В., Язева Р.Г. (2000) Субщелочной магматизм Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 256 с.
- Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс). (2001) (Отв. ред. А.Ф. Морозов). Тверь: Изд-во ГЕРС, 286 с.
- Голубкова Е.Ю., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Довжикова Е.Г., Маслов А.В. (2015) Микрофоссилии и Rb-Sr возраст глауконитов в опорном разрезе верхнего протерозоя северо-востока Русской плиты (скв. Кельтменская-1). *Докл. АН*, **462**(4), 444-448.
- Гражданкин Д.В. (2003) Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **11**(4), 3-34.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2015) Место венда в международной стратиграфической шкале. *Геология и геофизика*, **56**(4), 703-717.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. (2009) Строение и этапы формирования вендских отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **17**(5), 20-40.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 280 с.
- Ибламинев Р.Г., Лебедев Г.В. (2001) Магматические ассоциации и формации западного склона Среднего и Северного Урала. *Вестн. Перм. гос. ун-та. Геология*, (3), 13-44.
- Ибламинев Р.Г., Лебедев Г.В. (2006) Вулканические комплексы магматических формаций западного склона Среднего и Северного Урала. *Литосфера*, (1), 76-90.
- Карпухина Е.В., Первов В.А., Журавлев Д.З. (2001) Петрология щелочного вулканизма – индикатора поздневендского рифтогенеза, западный склон Урала. *Петрология*, **9**(5), 480-503.
- Карта докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления (со снятыми фанерозойскими отложениями). (1983) Масштаб 1 : 2 500 000. Объяснительная записка (Отв. ред. Ю.Р. Беккер). Л.: ВСЕГЕИ, 172 с.
- Келлер Б.М. (1963) Общие вопросы строения верхнего докембрия. Палеогеография и геологическая история. *Стратиграфия СССР. Верхний докембрий* (Отв. ред. Б.М. Келлер). М.: Госнаучтехиздат, 615-631.
- Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А., Михайлов П.Н. (2004) Аналоги отложений нижнего венда на западе Башкортостана. *Геологический сборник. № 4*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 71-76.
- Курбацкая Ф.А. (2004) Поздневендская флишоидно-молассоидная формация Западного Урала. *Вестн. Перм. гос. ун-та. Геология*, (3), 9-12.
- Лозин Е.В., Хасанов В.Х. (1991) Сейсмогеологические данные о глубинном строении края платформы и Южного Урала. *Геология, геофизика и полезные ископаемые Южного Урала и Приуралья*. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 48-58.
- Маслов А.В. (2012) Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 248 с.
- Маслов А.В. (2014) Литогеохимический облик отложенный ашинской серии венда западного склона Южного Урала. *Литосфера*, (1), 13-32.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Крупенин М.Т. (2013) Особенности изменения ряда литогеохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород позднего венда Мезенского палеобассейна. *Литосфера*, (3), 25-42.
- Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горбунова Н.П., Гуляева Т.Я., Лепихина О.П., Попова О.Ю., Ятлук Г.М. (2006а) Условия формирования вендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины по данным изучения литогеохимических особенностей аргиллитов. *Литология и полз. ископаемые*, (3), 279-300.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Петров Г.А. (2003) К оценке редокс-обстановок рифейских и вендских бассейнов осадконакопления западного склона Урала. *Литосфера*, (2), 75-93.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Киселева Д.В. (2011) Литогеохимия тонкозернистых алюмосиликокластических пород серебрянской серии венда Среднего Урала. *Геохимия*, (10), 1032-1062.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2004) Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса. *Литология и полз. ископаемые*, (4), 414-441.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. (2015) Редокс-обстановки придонных вод неопротерозойских бассейнов востока и северо-востока Восточно-Европейской платформы. *Литосфера*, (5), 30-42.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В. (2006б) Палеоклиматические реконструкции для позднего венда: скв. 1000 Тучкино Беломорско-Кулойского плато. *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана*. Мат-лы VI межрегион. науч.-практ. конф. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 91-93.
- Петров Г.А. (2013) Проявление тектонической обстановки скольжения плит в фанерозойской истории Сред-

- него Урала: постановка проблем и некоторые направления исследования. *Ежегодник-2012*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. Екатеринбург, 56-61.
- Петров Г.А., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. (2005) Допаалеозойские магматические комплексы Кваркушко-Каменногорского антиклинория (Средний Урал): новые данные по геохимии и геодинамике. *Литосфера*, (4), 42-69.
- 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.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. (2015) Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **23**(6), 16-27.
- Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. (2015) Стратиграфическая схема рифей и венда Волго-Уральской области (изменения и дополнения). *Геологический сборник ИГ УНЦ РАН*. № 12. Информационные материалы. СПб.: Свое издательство, 3-22.
- Соколов Б.С. (1997) Очерки становления венда. М.: КМК Лтд, 156 с.
- Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка. (2000) (Отв. ред. Е.М. Аксенов, В.И. Козлов). Уфа: ИГ УНЦ РАН, 81 с.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург: Роскомнедра; ИГГ УрО РАН, 172 л.
- Стратотип рифей. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Чумаков Н.М. (2015) Оледенения Земли: история, стратиграфическое значение и роль в биосфере. М.: ГЕОС, 160 с.
- Adams J.A., Weaver C.E. (1958) Thorium-to-uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geochemical facies. *AAPG. Bull.*, **42**(2), 387-430.
- Anderson R.F., Fleisher M.Q., LeHuray A.P. (1989) Concentration, oxidation-state, and particulate flux of uranium in the Black-Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 2215-2224.
- Berzin R., Oncken O., Knapp J.H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A. (1996) Orogenic evolution of the Ural Mountains: results from an integrated seismic experiment. *Science*, **274**, 220-221.
- Brennecke G.A., Herrmann A.D., Algeo T.J., Anbar A.D. (2011) Rapid expansion of oceanic anoxia immediately before the end-Permian mass extinction. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **108**(43), 17631-17634.
- Brongersma-Sanders M., Stephan K.M., Kwee T.G., de Bruin M. (1980) Distribution of minor elements in cores from the Southwest Africa shelf with notes on plankton and fish mortality. *Mar. Geol.*, **37**, 91-132.
- Brumsack H.-J. (2006) The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, **232**, 344-361.
- Canfield D.E. (2005) The early history of atmospheric oxygen: homage to R.M. Garrels. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **33**, 1-36.
- Canfield D.E., Poulton S.W., Narbonne G.M. (2007) Late-Neoproterozoic deep-ocean oxygenation and the rise of animal life. *Science*, **315**, 92-95.
- Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F., Krawczyk C., Suleimanov A., Spiridonov V., Knapp J.H., Menshikov Y., Alvarez-Marrón J., Yunusov N. (1996) Preserved collisional crustal structure of the Southern Urals revealed by vibroseis profiling. *Science*, **274**, 224-226.
- Fan H., Zhu X., Wen H., Yan B., Li J., Feng L. (2014) Oxygenation of Ediacaran Ocean recorded by iron isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **140**, 80-94.
- Fike D.A., Grotzinger J.P., Pratt L.M., Summons R.E. (2006) Oxidation of the Ediacaran Ocean. *Nature*, **444**, 744-747.
- Grazhdankin D. (2004) Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Ed. by D.G. Gee, V.L. Pease. *Geol. Soc. London. Mem.*, **30**, 37-46.
- Johnston D.T., Poulton S.W., Goldberg T., Sergeev V.N., Podkovyrov V.N., Vorob'eva N.G., Bekker A., Knoll A.H. (2012) Late Ediacaran redox stability and metazoan evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **335-336**, 25-35.
- Jones B., Manning D.A. (1994) Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**(1), 111-129.
- Li C., Love G.D., Lyons T.W., Fike D.A., Sessions A.L., Chu X. (2010) A stratified redox model for the Ediacaran Ocean. *Science*, **328**, 80-83.
- Lyons T.W., Reinhard C.T., Planavsky N.J. (2014) The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*, **506**, 307-315.
- McFadden K.A., Huang J., Chu X., Jiang G., Kaufman A.J., Zhou C., Yuan X., Xiao S. (2008) Pulsed oxygenation and biological evolution in the Ediacaran Doushantuo Formation. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **105**, 3197-3202.
- McManus J., Berelson W., Severmann S., Poulson R., Hammond D., Klinkhammer G., Holm C. (2006) Molybdenum and uranium geochemistry in continental margin sediments: paleoproxy potential. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**(18), 4643-4662.
- Morford J.L., Emerson S. (1999) The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 1735-1750.
- Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. (2004) (Ed. by D.G. Gee, V. Pease). *Geol. Soc. London. Mem.*, **30**, 248 p.
- Partin C.A., Bekker A., Planavsky N.J., Scott C.T., Gill B.C., Li C., Podkovyrov V., Maslov A., Konhauser K.O., Lalonde S.V., Love G.D., Poulton S.W., Lyons T.W. (2013) Large-scale fluctuations in Precambrian atmospheric and oceanic oxygen levels from the record of U in shales. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **369**, 284-293.
- Planavsky N.J., Tarhan L.G., Bellefroid E.J., Evans D.A.D., Reinhard C.T., Love G.D., Lyons T.W. (2015) Late proterozoic transitions in climate, oxygen, and tectonics, and the rise of complex life. *Earth-Life Transitions: Paleobiology in the Context of Earth System Evolution*. Eds. by P.D. Polly, J.J. Head, D.L. Fox. *Paleontological Society Papers*, **21**. 1-36.

- Racka M., Marynowski L., Filipiak P., Sobstel M., Pisarzowska A., Bond D.P.G. (2010) Anoxic Annullata Events in the Late Famennian of the Holy Cross Mountains (Southern Poland): Geochemical and palaeontological record. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **297**, 549-575.
- Rudnick R.L., Gao S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise Geochem.*, **3**, 1-64.
- Sahoo S.K., Planavsky N.J., Kendall B., Wang X., Shi X., Scott C., Anbar A.D., Lyons T.W., Jiang G. (2012) Ocean oxygenation in the wake of the Marinoan glaciation. *Nature*, **489**, 546-549.
- Shields-Zhou G., Och L. (2011) The case for a Neoproterozoic oxygenation event: geochemical evidence and biological consequences. *GSA Today*, **21**, 4-11.
- Thomson D., Rainbird R.H., Dix G. (2014) Architecture of a Neoproterozoic intracratonic carbonate ramp succession: Wynniatt Formation, Amundsen Basin, Arctic Canada. *Sed. Geol.*, **299**, 119-138.
- Torsvik T.H., Cocks L.R.M. (2005) Norway in space and time: A Centennial cavalcade. *Norw. J. Geol.*, **85**, 73-86.
- Yu B., Dong H., Widom E., Chen J., Lin C. (2009) Geochemistry of basal Cambrian black shales and cherts from the Northern Tarim Basin, Northwest China: Implications for depositional setting and tectonic history. *J. Asian Earth Sci.*, **34**, 418-436.
- Zhang F., Zhu X., Yan B., Kendall B., Peng X., Li J., Algeo T.J., Romaniello S. (2015) Oxygenation of a Cryogenian ocean (Nanhua Basin, South China) revealed by pyrite Fe isotope compositions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **429**, 11-19.
- Zhou C., Jiang S.-Y. (2009) Palaeoceanographic redox environments for the lower Cambrian Hetang Formation in South China: Evidence from pyrite framboids, redox sensitive trace elements, and sponge biota occurrence. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **271**, 279-286.
- tigraphy. *Geochronology* (Eds. B.M. Keller, N.M. Chumakov)]. Moscow, Nauka Publ., 107-124. (In Russian)
- Anderson R.F., Fleisher M.Q., LeHuray A.P. (1989) Concentration, oxidation-state, and particulate flux of uranium in the Black-Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 2215-2224.
- Bekker Yu.R. (1968) *Pozdnedokembriiskaya molassa Yuzhnogo Urala* [The Late Precambrian Molass of the Southern Urals]. Leningrad, Nedra Publ., 160 p. (In Russian)
- Bekker Yu.R. (1988) *Molassy dokembriya* [Molasses Precambrian]. Leningrad, Nedra Publ., 288 p. (In Russian)
- Berzin R., Oncken O., Knapp J.H., Perez-Estaun A., Hismatulin T., Yunusov N., Lipilin A. (1996) Orogenic evolution of the Ural Mountains: results from an integrated seismic experiment. *Science*, **274**, 220-221.
- Bochkarev V.V., Yazeva R.G. (2000) *Subshchelochnoi magmatizm Urala* [Subalkaline Magmatism of the Urals]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 256 p. (In Russian)
- Brenneka G.A., Herrmann A.D., Algeo T.J., Anbar A.D. (2011) Rapid expansion of oceanic anoxia immediately before the end-Permian mass extinction. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **108**, 17631-17634.
- Brongersma-Sanders M., Stephan K.M., Kwee T.G., de Bruin M. (1980) Distribution of minor elements in cores from the Southwest Africa shelf with notes on plankton and fish mortality. *Mar. Geol.*, **37**, 91-132.
- Brumsack H.-J. (2006) The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **232**, 344-361.
- Canfield D.E. (2005) The early history of atmospheric oxygen: homage to Robert M. Garrels. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **33**, 1-36.
- Canfield D.E., Poulton S.W., Narbonne G.M. (2007) Late-Neoproterozoic deep-ocean oxygenation and the rise of animal life. *Science*, **315**, 92-95.
- Chumakov N.M. (2015) *Oledeneniya Zemli: istoriya, stratigraficheskoe znachenie i rol' v biosfere* [The glaciations of the Earth: history, stratigraphic significance and role in the biosphere]. Moscow, GEOS Publ., 160 p. (In Russian)
- Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F., Krawczyk C., Suleimanov A., Spiridonov V., Knapp J.H., Menshikov Y., Alvarez-Marrón J., Yunusov N. (1996) Preserved collisional crustal structure of the Southern Urals revealed by vibroseis profiling. *Science*, **274**, 224-226.
- Fan H., Zhu X., Wen H., Yan B., Li J., Feng L. (2014) Oxygenation of Ediacaran Ocean recorded by iron isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **140**, 80-94.
- Fike D.A., Grotzinger J.P., Pratt L.M., Summons R.E. (2006) Oxidation of the Ediacaran Ocean. *Nature*, **444**, 744-747.
- Glubinnoe stroenie i geodinamika Yuzhnogo Urala (proekt Uralseis)*. (2001) (Otv. red. A.F. Morozov) [Deep structure and geodynamics of the Southern Urals (Ural-Seis project) (Ed. A.F. Morozov)]. Tver': GERS Publishing House, 286 p. (In Russian)
- Golubkova E.Yu., Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Dovzhikova E.G., Maslov A.V. (2015) Microfossils and Rb-Sr age of glauconites in the reference section of the upper Proterozoic of the north-east of the Russian Plate (Keltmenskaya-1 well). *Dokl. Akad. Nauk*, **462**(4), 444-448. (In Russian)
- Grazhdankin D.V. (2003) The structure and conditions of sedimentation of the Vendian complex in the South-

- Eastern of Beloe Sea area. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **11**(4), 3-34. (In Russian)
- Grazhdankin D. (2004) Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Ed. by Gee D.G., Pease V.L. *Geol. Soc. London. Mem.*, **30**, 37-46.
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2015) Vendian's place in the international stratigraphic scale. *Geol. Geofiz.*, **56**(4), 703-717. (In Russian)
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T. (2009) The structure and stages of the formation of the Vendian deposits of the Sylvitsa series of the western slope of the Middle Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(5), 20-40. (In Russian)
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2010) *Osadochnye sistemy sylvitskoi serii (verkhniy vend Srednego Urala)* [Sedimentary systems of the Sylvitsa series (upper Vendian of the Middle Urals)]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 280 p. (In Russian)
- Iblaminov R.G., Lebedev G.V. (2001) Magmatic associations and formations of the western slope of the Middle and Northern Urals. *Vestn. Perm. State. Univ. Geology*, **(3)**, 13-44. (In Russian)
- Iblaminov R.G., Lebedev G.V. (2006) Volcanic complexes of magmatic formations of the western slope of the Middle and Northern Urals. *Litosfera*, **(1)**, 76-90. (In Russian)
- Johnston D.T., Poulton S.W., Goldberg T., Sergeev V.N., Podkovyrov V.N., Vorob'eva N.G., Bekker A., Knoll A.H. (2012) Late Ediacaran redox stability and metazoan evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **335-336**, 25-35.
- Jones B., Manning D.A. (1994) Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**(1), 111-129.
- Karpuhina E.V., Pervov V.A., Zhuravlev D.Z. (2001) Petrology of alkaline volcanism – an indicator of Late Vendian rifting, the western slope of the Urals. *Petrologiya*, **9**(5), 480-503. (In Russian)
- Karta dokembriiskikh formatsii Russkoi platformy i ee scladchatogo obramleniya (so snyatymi fanerozoiskimi otlozheniyami). Masshtab 1 : 2 500 000. Ob`yasnitel'naya zapiska.* (1983) (Otv. red. Yu.R. Bekker) [Map of the Precambrian formations of the Russian Platform and its folded frame (with Phanerozoic deposits removed) Scale 1 : 2,500,000. Explanatory note (Ed. Yu.R. Bekker)]. Leningrad, VSEGEI Publ., 172 p. (In Russian)
- Keller B.M. (1963) General questions of the structure of the Upper Precambrian. Paleogeography and geological history. *Stratigrafiya SSSR. Verkhniy dokembrii* (Otv. red. B.M. Keller) [Stratigraphy of the USSR. Upper Precambrian (Ed. B.M. Keller)]. Moscow, Gosnauchtekhizdat Publ., 615-631. (In Russian)
- Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Genina L.A., Mikhailov P.N. (2004) Analogues of the Lower Vendian deposits in the west of Bashkortostan. *Geologicheskii sbornik. № 4.* Ufa, IG UNTs RAN, 71-76. (In Russian)
- Kurbatskaya F.A. (2004) Late Vendian Flyschoid-Molasoid Formation of the Western Urals. *Vestn. Perm. State. Univ. Geology*, **(3)**, 9-12. (In Russian)
- Li C., Love G.D., Lyons T.W., Fike D.A., Sessions A.L., Chu X. (2010) A stratified redox model for the Ediacaran Ocean. *Science*, **328**, 80-83.
- Lozin E.V., Hasanov V.Kh. (1991) Seismogeological data on the deep structure of the edge of the platform and the Southern Urals. *Geologiya, geofizika i poleznye iskopaemye Yuzhnogo Urala i Priyral'ya* [Geology, geophysics and minerals of the Southern Urals and the Cis-Urals]. Ufa, BNC, Urals Branch of Academy of Sciences of the USSR, 48-58. (In Russian)
- Lyons T.W., Reinhard C.T., Planavsky N.J. (2014) The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*, **506**, 307-315.
- Maslov A.V. (2012) *Litogeohimiya terrigennykh porod verkhnego dokembriya Volgo-Ural'skoi oblasti* [Litho-geochemistry of terrigenous rocks of the Upper Precambrian of the Volga-Ural Region]. Ekaterinburg, RIO UrO RAN, 248 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (2014) Litho-geochemical appearance of deposits of the Ashin Vendian series of the western slope of the Southern Urals. *Litosfera*, **(1)**, 13-32. (In Russian)
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Podkovyrov V.N., Krupenin M.T. (2013) Specifics of changes in a number of litho-geochemical characteristics of fine-grained clastic rocks of the Late Vendian of the Mezen Paleobasin. *Litosfera*, **(3)**, 25-42. (In Russian)
- Maslov A.V., Isherskaya M.V., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Gorbunova N.P., Gulyaeva T.Ya., Lepikhina O.P., Popova O.Yu., Yatluk G.M. (2006a) Conditions for the formation of the Vendian deposits of the Shkapovo-Shikhan depression from the data on the study of litho-geochemical features of argillites. *Litol. Polez. Iskop.*, **(3)**, 279-300. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Petrov G.A. (2003) To the assessment of redox environments of the Riphean and Vendian basins of sedimentation of the western slope of the Urals. *Litosfera*, **(2)**, 75-93. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Kiseleva D.V. (2011) Litho-geochemistry of fine-grained aluminosilicoclastic rocks of the Vendian Serebryanka series in the Middle Urals. *Geokhimiya*, **(10)**, 1032-1062. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L., Gareev E.Z., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2004) Fine-grained aluminosilicoclastic formations of the stratotype section of the Middle Riphean in the Southern Urals: features of formation, composition and evolution of demolition sources. *Litol. Polez. Iskop.*, **(4)**, 414-441. (In Russian)
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2015) Redox conditions of the near-bottom waters of the Neoproterozoic basins of the east and northeast of the East European Platform. *Litosfera*, **(5)**, 30-42. (In Russian)
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Grazhdankin D.V. (2006b) Paleoclimatic reconstructions for the Late Vendian: borehole. 1000 Tuchkino of the Beloe Sea-Kuloi plateau. *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geokologii Bashkortostana. Materialy VI Mezhhregional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan. Proc. VI-th Interregion. scientific-practical. Conf.]. Ufa, IG USC RAS, 91-93. (In Russian)
- McFadden K.A., Huang J., Chu X., Jiang G., Kaufman A.J., Zhou C., Yuan X., Xiao S. (2008) Pulsed oxygenation and biological evolution in the Ediacaran Doushantuo Formation. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **105**, 3197-3202.
- McManus J., Berelson W., Severmann S., Poulson R., Hammond D., Klinkhammer G., Holm C. (2006) Molybdenum and uranium geochemistry in continental

- margin sediments: paleoproxy potential. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**, 4643-4662.
- Morford J.L., Emerson S. (1999) The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 1735-1750.
- Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. (2004) (Ed. by D.G. Gee, V. Pease). Geol. Soc. London. Mem., **30**, 248 p.
- Partin C.A., Bekker A., Planavsky N.J., Scott C.T., Gill B.C., Li C., Podkovyrov V., Maslov A., Konhauser K.O., Lalonde S.V., Love G.D., Poulton S.W., Lyons T.W. (2013) Large-scale fluctuations in Precambrian atmospheric and oceanic oxygen levels from the record of U in shales. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **369**, 284-293.
- Petrov G.A. (2013) The manifestation of the tectonic slippage in the Phanerozoic history of the Middle Urals: the formulation of problems and some areas of research. *Ezhegodnik-2012. Trudy IGG UrO RAN. Vyp. 160*, 56-61. (In Russian)
- Petrov G.A., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. (2005) Dopaleozoic igneous complexes of the Kvaruk-Kamennogorsk anticlinorium (Middle Urals): new data on geochemistry and geodynamics. *Litosfera*, (4), 42-69. (In Russian)
- Planavsky N.J., Tarhan L.G., Bellefroid E.J., Evans D.A.D., Reinhard C.T., Love G.D., Lyons T.W. (2015) Late Proterozoic transitions in climate, oxygen, and tectonics, and the rise of complex life. *Earth-Life Transitions: Paleobiology in the Context of Earth System Evolution*. Eds. by Polly P.D., Head J.J., Fox D.L. *Paleontological Society Papers*, **21**, 1-36.
- Podkovyrov V.N., Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2011) Litho geochemistry of fine-grained clastic rocks of the Vendian of the southern part of the Vycheгда trough. *Litol. Polez. Iskop.*, (5), 484-504. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
- Racka M., Marynowski L., Filipiak P., Sobstel M., Piszowska A., Bond D.P.G. (2010) Anoxic Annulata Events in the Late Famennian of the Holy Cross Mountains (Southern Poland): Geochemical and palaeontological record. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **297**, 549-575.
- Rudnick R.L., Gao S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise Geochem.*, **3**, 1-64.
- Sahoo S.K., Planavsky N.J., Kendall B., Wang X., Shi X., Scott C., Scott C., Anbar A.D., Lyons T.W., Jiang G. (2012) Ocean oxygenation in the wake of the Marinoan glaciation. *Nature*, **489**, 546-549.
- Semihatov M.A., Kuznetsov A.B., Chumakov N.M. (2015) Isotopic age of the boundaries of the common stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) of Russia: the evolution of views and modern assessment. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **23**(6), 16-27. (In Russian)
- Sergeeva N.D., Puchkov V.N. (2015) Stratigraphic scheme of Riphean and Vendian of the Volga-Ural region (changes and additions). *Geol. sbornik IG USC RAS. № 12*. Information materials. St-Petersburg, Svoe Izdatel'stvo Publishing House, 3-22. (In Russian)
- Sokolov B.S. (1997) *Ocherki stanovleniya vendi* [Essays on the development of the Vendian]. Moscow, KMK Ltd. Publ., 156 p. (In Russian)
- Shields-Zhou G., Och L. (2011) The case for a Neoproterozoic oxygenation event: geochemical evidence and biological consequences. *GSA Today*, **21**, 4-11.
- Stratigraficheskaya skhema rifeiskikh i vendiskikh otlozhenii Volgo-Ural'skoi oblasti. Ob`yasnitel'naya zapiska*. (2000) (Otv. red. E.M. Aksenov, V.I. Kozlov) [Stratigraphic scheme of Riphean and Vendian deposits of the Volga-Uralian region. Explanatory note (Eds. E.M. Aksenov, V.I. Kozlov)]. Ufa, IG UNTs RAN, 81 p. (In Russian)
- Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrii, paleozoi)*. (1993) [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, Roskomnedra, IGG UrO RAN, 172 l. (In Russian)
- Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya*. (1983) (Otv. red. B.M. Keller, N.M. Chumakov) [Stratotype of Riphean. Stratigraphy. Geochronology (Eds. B.M. Keller, N.M. Chumakov)]. Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1988) *Kontinental'naya kora, ee osnovy i evolutsiya* [Continental crust, its composition and evolution]. Moscow, Mir, 384 p. (In Russian)
- Thomson D., Rainbird R.H., Dix G. (2014) Architecture of a Neoproterozoic intracratonic carbonate ramp succession: Wynniatt Formation, Amundsen Basin, Arctic Canada. *Sed. Geol.*, **299**, 119-138.
- Torsvik T.H., Cocks L.R.M. (2005) Norway in space and time: A Centennial calvalcade. *Norw. J. Geol.*, **85**, 73-86.
- Yu B., Dong H., Widom E., Chen J., Lin C. (2009) Geochemistry of basal Cambrian black shales and cherts from the Northern Tarim Basin, Northwest China: Implications for depositional setting and tectonic history. *J. Asian Earth Sci.*, **34**, 418-436.
- Zhang F., Zhu X., Yan B., Kendall B., Peng X., Li J., Algeo T.J., Romaniello S. (2015) Oxygenation of a Cryogenian ocean (Nanhua Basin, South China) revealed by pyrite Fe isotope compositions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **429**, 11-19.
- Zhou C., Jiang S.-Y. (2009) Palaeoceanographic redox environments for the lower Cambrian Hetang Formation in South China: Evidence from pyrite framboids, redox sensitive trace elements, and sponge biota occurrence. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **271**, 279-286.