

РАЗРЕЗ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ЮЖНОГО УРАЛА И ПЕРЕРЫВЫ В НЕМ

© 2020 г. А. В. Маслов

Настоящая публикация не открывает для многих ничего нового. Цель ее – попытаться еще раз посмотреть на общее строение/конструкцию верхнедокембрийского разреза западного склона Южного Урала с учетом присутствующих в нем перерывов, так как эта проблема сегодня все чаще вызывает вопросы и у читателей, и у рецензентов.

Указанный разрез представлен интра- и перикратонными, а также орогенными/коллизийными терригенными и карбонатно-терригенными осадочными последовательностями, на некоторых уровнях среди которых встречаются вулканиты. Он объединяет четыре крупные седиментационные серии: бурзянскую, юрматинскую, каратаускую и ашинскую, первые три из них являются типовыми подразделениями нижнего, среднего и верхнего рифея. (Важно помнить, что стратотипической для рифея местностью являются только западное крыло/зона и центральная часть Башкирского мегантиклинория [Стратотип..., 1983]. Соответственно, венчающая, по мнению многих авторов, разрез каратауской серии криволукская свита, отложения которой распространены на восточном крыле Башкирского мегантиклинория, строго говоря, к подразделениям типа рифея не относится. То же можно сказать и о так называемом аршинии) Детальная характеристика этих серий приведена в работах [Беккер, 1968; Козлов, 1982; Стратотип..., 1983; Маслов, 1988; Нижний рифей..., 1989; Маслов, Анфимов, 2000; Маслов и др., 2001; и др.], что позволяет далее на ней не останавливаться.

В раннем и среднем рифее в пределах современного Башкирского мегантиклинория и прилегающих к нему с запада районах Восточно-Европейской платформы существовали, по всей видимости, относительно небольшие эпикратонные/надрифтовые бассейны [Маслов и др., 2001; и др.], а для позднего рифея может быть реконструирован латеральный ряд формаций, присущий океаническому бассейну [Пучков, 2008; и др.] (рис. 1). Это позволяет предполагать, что восточная периферия Восточно-Европейской платформы в позднем рифее являлась пассивной окраиной, сменявшейся восточнее океаническим бассейном с рядом микроконтинентов. В позднем венде в результате тиманского орогенеза в пределах современного западного склона Южного Урала и севернее формируются краевой и межгорные прогибы; для западного склона Среднего Урала в конце позднего рифея–раннем венде в связи с разворотом Бал-

тики предполагается существование обстановок косой коллизии/скольжения плит [Петров, 2014]. Накопление осадочных последовательностей айской (основание нижнего рифея) и машакской (основание среднего рифея) свит происходило на фоне разномасштабных плюмовых событий [Пучков, 2018; и др.]. Считается, что источник терригенного материала для отложений верхней части ашинской серии находился на востоке, тогда как в рифейские бассейны основная масса кластики поступала с запада.

Бурзянская серия залегает несогласно на метаморфических породах архея–раннего протерозоя и объединяет на северо-востоке Башкирского мегантиклинория (Тараташский антиклинорий) айскую, саткинскую и бакальскую свиты. Айская свита представлена преимущественно терригенными породами. В нижней ее части (навышская подсвита) присутствуют вулканиты, возраст цирконов в которых составляет порядка 1752 ± 11 млн лет [Краснобаев и др., 2013а; Семихатов и др., 2015]. Саткинская свита сложена в основном доломитами, известняки в ее составе играют подчиненную роль. Время раннего диагенеза последних 1550 ± 30 млн [Кузнецов и др., 2003]. Бакальская свита представлена в нижней части низкоуглеродистыми глинистыми сланцами, а в верхней – несильными алюмосиликокластическими и карбонатными пачками. Возраст раннего диагенеза известняков этой свиты оценивается в 1430 ± 30 млн лет [Кузнецов и др., 2008]. Между отложениями всех трех названных свит, по данным [Нижний рифей..., 1989 и др.], существуют постепенные, через переслаивание, переходы.

На отложениях бурзянской серии с перерывом, длительность которого может быть оценена примерно в 40–50 млн лет, и угловым несогласием [Сергеев, 1963; Стратотип..., 1983; и др.] залегают терригенные и терригенно-карбонатные образования юрматинской серии, объединяющей машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Между всеми входящими в состав данной серии свитами существуют постепенные, через переслаивание, переходы [Стратотип...,

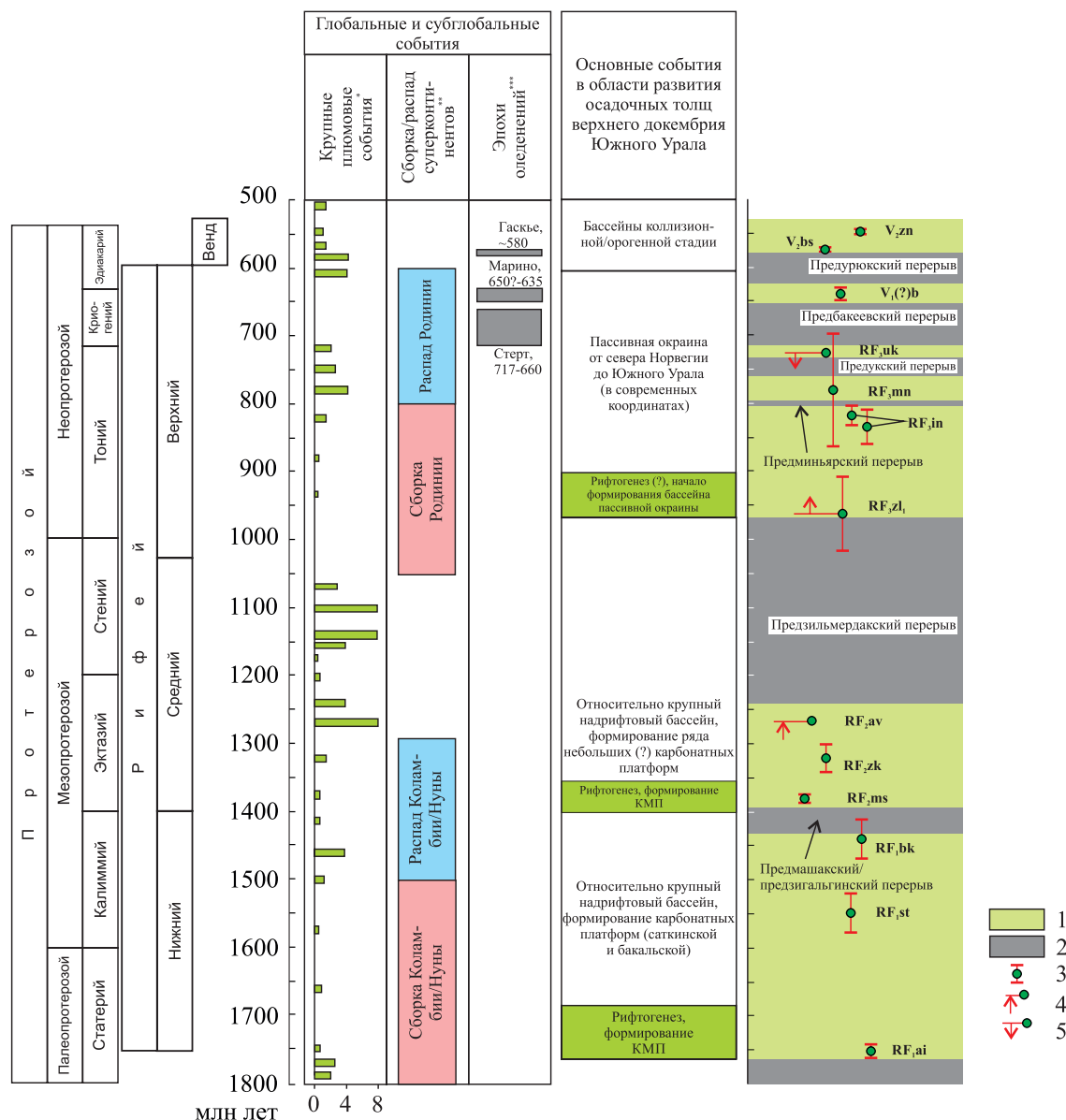


Рис. 1. Мировые глобальные и субглобальные события, основные события в области развития осадочных толщ верхнего докембрия Южного Урала и перерывы.

* Крупные магматические события (КМП) [Prokoph et al., 2004; Кузьмин, Ярмолюк, 2013], цифры внизу – количество событий.

** Эпохи сборки и распада суперконтинентов [Ernst, 2014].

*** Эпохи оледенений [Hoffman et al., 2017].

Свиты, подсвиты: RF_{ai} – айская; RF_{st} – саткинская; RF_{bk} – бакальская; RF_{ms} – машакская; RF_{zk} – зигазино-комаровская; RF_{av} – авзянская; RF_{zl} – бирьянская; RF_{in} – инзерская; RF_{mn} – миньярская; RF_{uk} – укская; V_{i(?)b} – бакевская; V_{2bs} – басинская; V_{2zn} – зиганская.

1 – интервалы присутствия отложений; 2 – интервалы отсутствия отложений/перерывы; 3 – изотопный возраст, млн лет ± стандартное отклонение; 4 – максимальный возрастной предел; 5 – минимальный возрастной предел.

1983; и др.]. Машакская свита¹ представлена в основном терригенными породами, чередующимися с метабазами и метариолитами. Для цирконов из последних получены U-Pb изотопные возрасты

1383 ± 3, 1386 ± 5 и 1386 ± 6 млн лет [Краснобаев и др., 2013б; Семихатов и др., 2015]. Зигальгинская свита складывается преимущественно кварцевыми песчаниками. Зигазино-комаровская свита со-

¹ Отложения машакской свиты развиты в центральной части Башкирского мегантиклинория. На северо-востоке этой структуры породы нижнего рифея с разрывом перекрыты песчаниками зигальгинской свиты.

стоит из пакетов и пачек переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. U–Pb (Pb–Pb) изотопный возраст раннедиагенетических фосфоритовых конкреций из основания свиты составляет 1330 ± 20 млн лет [Овчинникова и др., 2013]. Авзянская свита включает несколько карбонатных и алюмосиликокластических толщ. На основании хеомстратиграфических данных считается, что формирование свиты происходило не позже ~1270 млн лет назад [Bartley et al., 2007]. Таким образом, между средне- и верхнерифейскими отложениями на Южном Урале существует, по-видимому, перерыв длительностью около 250–300 млн лет. Однако так это на самом деле или нет – вопрос весьма непростой [Маслов, Анфимов, 2000]. В середине 1980-х гг. существовала даже точка зрения о постепенном переходе между юрматинской и каратауской сериями [Козлов, 1986; Геология..., 1988; и др.], хотя в итоге она не подтвердилась. Очевидно, что только материалов хеомстратиграфии для верификации вывода о длительном предверхнерифейском перерыве на Южном Урале недостаточно. Необходимо тем или иным образом попытаться получить данные об изотопном возрасте отложений авзянской свиты.

Каратауская серия включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую, укскую и криволукскую свиты. Зильмердакская свита объединяет аркозовые песчаники (бирьянская подсвита), пачки переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (нугушская и бедерышинская подсвиты), а также толщу кварцевых песчаников (лемезинская подсвита). Аркозовые песчаники содержат обломочные цирконы, минимальный U–Pb изотопный возраст которых составляет 964 ± 57 млн лет [Маслов и др., 2018]. Катавская свита сложена преимущественно глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита представлена пачками переслаивания глауконитово-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов. В ряде разрезов в ее основании присутствует толща сероцветных известняков (подинзерские слои). Rb–Sr изотопный возраст раннедиагенетического иллита из глинистых сланцев инзерской свиты составляет 803–836 млн лет [Горохов и др., 2019]. Время раннего диагенеза в известняках подинзерских слоев оценивается в 836 ± 25 млн лет [Овчинникова и др., 1998]. Между отложениями зильмердакской, катавской и инзерской свит описаны постепенные, через переслаивание, переходы [Козлов, 1982; Стратотип..., 1983; и др.]. Ранее, основываясь на изотопно-геохронологических и хеомстратиграфических данных и допуская существование линейной зависимости между мощностью отложений и временем их накопления, авторы работы [Кузнецов и др., 2003] установили для катавской и инзерской свит следующие возрастные рамки: 890–850 млн лет – для катавской и 850–810 млн лет – для инзерской.

Миньярская свита сложена преимущественно доломитами, Pb–Pb изотопный возраст которых равен 780 ± 85 млн лет [Овчинникова и др., 2000]. В основании свиты, по данным М.Е. Раабен [1975], присутствует небольшой перерыв; длительность его составляла, вероятно, первые миллионы лет. Укская свита в нижней части представлена терригенными и карбонатными породами, а в верхней – известняками. K–Ar и Rb–Sr возраст глауконита из песчаников нижеукской подсвиты составляет соответственно 669 ± 16 и 664 ± 11 млн лет [Зайцева и др., 2008]. Эти датировки не согласуются с результатами изучения изотопного состава стронция в карбонатных породах данного уровня каратавия. Отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в наименее измененных известняках укской свиты на коррелируемых стратиграфических уровнях примерно одинаковы в ряде удаленных разрезов [Кузнецов и др., 2003, 2006 и др.] и характерны, по современным представлениям, для докриогениевых (>720 млн лет) отложений [Kuznetsov et al., 2017]. Длительность предукского перерыва может быть оценена, следовательно, примерно в 20–30 млн лет.

На породах укской свиты каратауской серии в стратотипической местности рифея (западное крыло и центральная часть Башкирского мегантиклинория) с размывом залегают породы бакеевской свиты ашинской серии. Наиболее хорошо это видно на правом борту долины р. Зилим в приустьевой части руч. Сарышка (в конце 1990-х гг. этот район можно было еще назвать и «районом у Куртазинского моста»). На западном крыле Башкирского мегантиклинория в долине р. Зилим несколько ниже д. Толпарово можно видеть, как на глинистых известняках катавской свиты каратауской серии залегают конгломераты, а выше – терригенные породы толпаровской и суировской свит, выполняющие глубокую врезанную долину в отложениях каратауской серии [Келлер и др., 1984]. Аналогами этих образований считаются терригенные отложения бакеевской свиты, Rb–Sr возраст глауконита из песчаников последней оценивается в 642 ± 9 млн лет [Зайцева и др., 2019]. Таким образом, длительность предбакеевского перерыва может составлять ~70–80 млн лет. К более высоким уровням ашинской серии принадлежат урюкская, басинская, куккараукская и зиганская свиты. В соответствии с представлениями [Grazhdankin, 2014; Kolesnikov et al., 2015; и др.], все названные свиты относятся к котлинскому региоярису верхнего венда, возрастные рамки которого составляют 550–542 млн лет [Гражданкин, Маслов, 2015] (возможно, однако, что в свете новых данных (см. далее) о возрасте вулканогенных цирконов из туфов, залегающих среди отложений басинской свиты, эти представления будут пересмотрены). Исходя из сказанного, пока можно думать, что в основании урюкской свиты также присутствует пе-

перыв длительностью до 80–90 млн лет. Урюкская свита сложена аркозовыми и субаркозовыми песчаниками. Басинская и зиганская свиты представлены субграувакковыми и полевошпатово-кварцевыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Куккараукская свита объединяет в нижней части в основном песчаники, а в верхней – конгломераты. По данным [Разумовский и др., 2020], U-Pb-изотопный возраст цирконов из вулканических туфов, присутствующих в разрезе басинской свиты к югу от с. Макарово (т. н. «новая дорога» до с. Кулгунино), составляет 573.0 ± 2.3 млн лет. U-Pb LA-ICP-MS-изотопный возраст циркона из вулканических туфов, присутствующих в разрезе зиганской (?) свиты на северной окраине г. Усть-Катав вулканических туфов, составляет 547.6 ± 3.8 млн лет [Levashova et al., 2013].

Приведенные данные позволяют сделать как минимум три вывода. Во-первых, при общей длительности формирования осадочных последовательностей всех четырех седиментационных серий верхнего докембрия западного склона Южного Урала порядка 1200 млн лет, примерно 460 млн лет из них (т. е. около 40%) в геологической летописи здесь, по всей видимости, не представлено. Во-вторых, наиболее актуальной задачей исследований стратотипа рифея является в настоящее время получение данных об изотопном возрасте отложений авзянской свиты. Это позволило бы верифицировать представления о наличии в типовой местности рифея длительного перерыва между юрматинием и каратавием. В-третьих, собственно позднерифейский этап эволюции осадочного бассейна (охватывающий осадочные последовательности от зильмердакской до укской свит включительно), на который приходится два разномасштабных (несколько млн лет и 20–30 млн лет) перерыва, возможно, не должен рассматриваться как единый этап формирования пассивной окраины на восточной, северо-восточной и северной периферии палеоконтинента Балтика, поскольку наиболее отчетливое несогласие в подобного рода осадочных бассейнах приурочено, как правило, к смене рифтовых отложений дрифтовыми [Худолей, 2004], т. е. в нашем случае оно должно быть на границе между бирьянской и нугушской подсвитами (?) зильмердакской свиты, но этого реально не наблюдается.

Исследования выполнены в рамках темы № АААА-А18-118053090044-1 государственного задания ИГГ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беккер Ю.Р. Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 1968. 160 с.
- Геология и перспективы нефтегазоносности Урала / отв. ред. Б.М. Юсупов. М.: Наука, 1988. 240 с.
- Горохов И.М., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Аракелянц М.М., Ковач В.П., Константинова Г.В., Турченко Т.Л., Васильева И.М. Изотопная систематика и возраст аутигенных минералов в аргиллитах инзерской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27, № 2. С. 3–30.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В. Место венда в Международной стратиграфической шкале // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 4. С. 703–717.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Мельников Н.Н., Аракелянц М.М., Яковлева О.В. Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr, K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16, № 3. С. 3–25.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Горожанин В.М., Горохов И.Н., Ивановская Т.А., Константинова Г.В. Основание венда на Южном Урале: Rb-Sr возраст глауконитов бакеевской свиты // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27, № 5. С. 82–96.
- Келлер Б.М., Вейс А.Ф., Горожанин В.М. Толпаровский разрез верхнего докембрия (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. № 9. С. 119–124.
- Козлов В.И. Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 1982. 128 с.
- Козлов В.И. Стратотип рифея Южного Урала // Стратиграфия, литология и геохимия верхнего докембрия Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 6–16.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. Цирконология навыйских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Докл. АН. 2013а. Т. 448, № 4. С. 437–442.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний–средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2013б. Т. 21, № 5. С. 3–20.
- Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Маслов А.В. Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал) // Докл. АН. 2003. Т. 391, № 6. С. 794–798.
- Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Маслов А.В. Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст карбонатных пород саткинской свиты, нижнерифейская бурзянская серия Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16, № 2. С. 16–34.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М., Мельников Н.Н., Константинова Г.В., Кутявин Э.П. Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в позднерифейском океане // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11, № 5. С. 3–39.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В. Sr- и C-изотопная хемотратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14, № 6. С. 25–53.

- Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Кравчинский В. Глубинная геодинамика – основной механизм развития Земли // Наука в России. 2013. № 6. С. 10–19.
- Маслов А.В. Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.
- Маслов А.В., Анфимов Л.В. Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия, условия образования, минералогия). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 132 с.
- Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018. Т. 482, № 5. С. 558–561.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с.
- Нижний рифей Южного Урала. М.: Наука, 1989. 208 с.
- Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А. Возможности Pb-Pb датирования карбонатных пород с открытыми U-Pb системами: миньярская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2000. Т. 8, № 6. С. 3–19.
- Овчинникова Г.В., Васильева Г.В., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский Б.М., Левский Л.К. U-Pb систематика протерозойских карбонатных пород: инзерская свита уральского стратотипа рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6, № 4. С. 20–31.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Крупенин М.Т., Гороховский Б.М., Маслов А.В. Pb-Pb возраст и Sr-изотопная характеристика среднерифейских фосфоритовых конкреций: зигаино-комаровская свита Южного Урала // Докл. АН. 2013. Т. 451, № 4. С. 430–434.
- Петров Г.А. Признаки позднекембрийской обстановки скольжения плит на Среднем Урале // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: мат-лы XLVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2014. Т. 2. С. 74–78.
- Пучков В.Н. Плюмы – новое слово в геологии Урала // Литосфера. 2018. Т. 18, № 4. С. 483–499.
- Пучков В.Н. Тиманиды и уралиты: основные особенности важнейших структурных этажей Урала и Тимано-Печорской провинции // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. С. 70–81.
- Раабен М.Е. Верхний рифей как единица общей стратиграфической шкалы. М.: Наука, 1975. 247 с.
- Разумовский А.А., Новиков И.А., Рудько С.В., Кузнецов Н.Б., Яшунский Ю.В. U-Pb изотопный возраст пепловых туфов поздневендской басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал) // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: мат-лы ЛII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. Т. 2. С. 219–224.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27.
- Сергеев О.П. Стратиграфия бакальской свиты Уральско-го протерозоя // Материалы по региональной стратиграфии СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 45–54.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
- Худoley А.К. Континентальный рифтогенез и пассивные окраины: тектоника и эволюция осадочных бассейнов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 84 с.
- Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chem. Geol. 2007. V. 273. P. 211–232.
- Ernst R.E. Large igneous provinces. Cambridge: Cambridge University press, 2014. 633 p.
- Grazhdankin D.V. Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota // J. Paleontol. 2014. V. 88. P. 269–283.
- Hoffman P.F., Abbot D.S., Ashkenazy Y., Benn D.I., Brocks J.J., Cohen P.A., Cox G.M., Creveling J.R., Donnadieu Y., Erwin D.H., Fairchild I.J., Ferreira D., Goodman J.C., Halverson G.P., Jansen M.F., Le Hir G., Love G.D., Macdonald F.A., Maloof A.C., Martin C.A., Ramstein G., Rose B.E.J., Rose C.V., Sadler P.M., Tziperman E., Voigt A., Warren S.G. Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology–geobiology // Sci. Advances. 2017. V. 3, no. 11. e1600983. ISSN 23752548. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600983>.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precam. Res. 2013. V. 236. P. 16–30.
- Kolesnikov A.V., Marusin V.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. Ediacaran biota in the aftermath of the Kotlinian Crisis: Asha Group of the South Urals // Precam. Res. 2015. V. 263. P. 59–78.
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M. Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // Precam. Res. 2017. V. 298. P. 157–173.
- Prokoph A., Ernst R.E., Buchan K.L. Time series analysis of Large Igneous Provinces: 3500 Ma to present // J. Geol. 2004. V. 112. P. 1–22.