

ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕСЧАНИКОВ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

© 2016 г. А. В. Маслов*, В. Н. Подковыров**, Э. З. Гареев, Л. Н. Котова**

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mail: maslov@igg.uran.ru

**Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2
E-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 12.05.2015 г.

Принята к печати 11.01.2016 г.

В статье проанализировано соответствие представлений о палеогеодинамической природе осадочных ассоциаций верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория, Камско-Бельского авлакогена и Учуро-Майского региона, полученных общегеологическими методами и с использованием дискриминантных диаграмм Дж. Мейнарада с соавторами, Б. Розера и Р. Корша, а также С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина. Показано, что между ними есть заметные различия.

Ключевые слова: *дискриминантные палеогеодинамические диаграммы, песчаники, верхний докембрий, Башкирский мегантиклинорий, Камско-Бельский авлакоген, Учуро-Майский регион.*

Состав песчаников, как петрографический, так и химический, играет важную роль в разных геологических реконструкциях – разграничении литостратиграфических единиц осадочных бассейнов, установлении состава пород в областях размыта, расшифровке палеоклиматических, палеогеодинамических и палеогеографических обстановок формирования осадочных последовательностей, а также особенностей их постседиментационных трансформаций [48, 54, 69, 70, 72–74, 76–79, 82, 83, 85–88 и др]. Авторы настоящей публикации достаточно давно занимаются вопросами реконструкции особенностей формирования крупных осадочных последовательностей по данным о валовом (петрогенные оксиды, редкие и рассеянные элементы) химическом составе псаммитов и тонкозернистых обломочных пород [7–12, 19, 26–28, 29–31, 33, 34, 36, 49–51, 62, 71, 84]. В данной работе мы предлагаем вниманию читателей сопоставление результатов интерпретации химического состава псаммитов верхнего докембрия Южного Урала, Камско-Бельского авлакогена и Учуро-Майского региона (рис. 1), полученных с помощью известных дискриминантных палеогеодинамических диаграмм, с представлениями, основанными на так называемом общегеологическом подходе (см. далее). Так как литостратиграфия и состав рассматриваемых нами осадочных образований стратотипа (Башкирский мегантиклинорий) и гипостратотипа (Учуро-Майский регион) рифея, как и Камско-Бельского авлакогена, достаточно подробно описаны в ли-

тературе [56, 65], в том числе в серии монографических работ последних лет [6, 25, 32, 53, 64], мы не останавливаемся на них далее сколько-нибудь подробно.

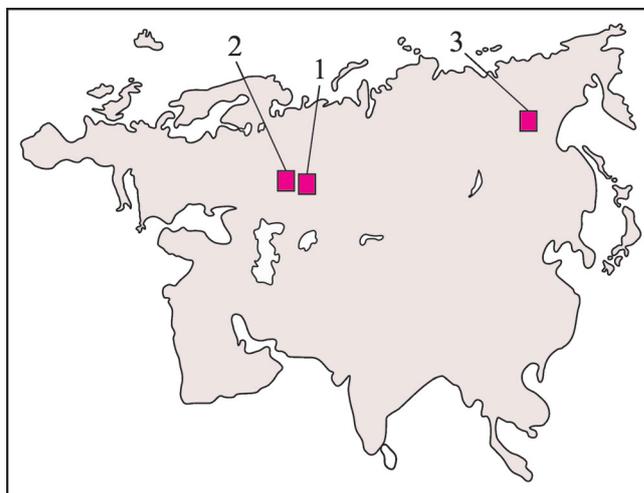


Рис. 1. Положение исследованных песчаниковых ассоциаций рифея и венда.

1 – Башкирский мегантиклинорий; 2 – Камско-Бельский авлакоген; 3 – Учуро-Майский регион.

Fig. 1. Studied the Riphean and the Vendian sandstone associations.

1 – Bashkir meganticlinorium; 2 – Kama-Belaya aulacogene; 3 – Uchur-Maya region.

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Представления, обзору которых посвящен настоящий раздел, основаны преимущественно на данных о литологическом и петрографическом составе пород разных литостратиграфических подразделений, их фациальных особенностях, характере распределения мощностей, латеральных и временных взаимоотношениях осадочных ассоциаций, составе и петрогеохимических особенностях ассоциирующих с ними магматических образований и некоторых других характеристиках. Далее для краткости мы именуем их “представлениями, полученными на основе общегеологических данных”.

Верхнедокембрийский разрез *Башкирского мегантиклинория* включает бурзянскую (тип нижнего рифея), юрматинскую (тип среднего рифея), каратаускую (тип верхнего рифея) и ашинскую (венд) серии [32, 55, 57, 65]. По мнению Н.С. Шатского [68 и др.], весь комплекс “древних отложений” западного склона Южного Урала представляет “...единую осадочную последовательность или один естественный седиментационный ряд”, а развитие седиментационных бассейнов указанной территории в позднем докембрии соответствовало классическому геосинклинальному циклу. Идеи Н.С. Шатского развивались З.М. Старостиной, Ю.Р. Беккером, И.К. Королук, Б.М. Келлером, И.Е. Постниковой и другими исследователями.

Так, Ю.Р. Беккер [3, 4] рассматривал Уральскую геосинклиналь как систему, прошедшую два полных цикла развития – рифейский и уральский. Наиболее весомым аргументом в пользу принадлежности всех трех осадочных серий рифея к единому геосинклинальному циклу Ю.Р. Беккер [5 и др.] считал наличие вендских моласс. По представлениям Б.М. Келлера [18], направленный ряд формаций, сходный с типично геосинклинальным рядом фанерозоя, наблюдается в Башкирском мегантиклинории только в интервале от зигазино-комаровской свиты среднего рифея до ашинской серии венда включительно. По мнению Ю.Д. Смирнова [58 и др.], в рифейско-вендском разрезе Урала можно выделить четыре самостоятельных тектономагматических цикла. В наиболее ярком виде эта идея воплотилась в работах [2, 60]. Полагая, что грубообломочные терригенные комплексы бирьянской и нугушской подлиты зильмердакской свиты представляют молассовые образования, их авторы считают, что байкальский цикл распадается на три самостоятельных, одинаково построенных цикла, равнозначных каледонскому или герцинскому, в конце которых происходили перестройки структурного плана. Орогенные части названных циклов представлены молассоидными форма-

циями (чудинско-навышский уровень нижнего рифея, машакский комплекс юрматиния и бирьянско-нугушские образования каратавия). Близких взглядов придерживались и авторы Тектонической карты Урала [59]. В соответствии с их представлениями тектонические обстановки раннего, среднего и позднего рифея на Южном Урале были сходными, что вытекает из существования трех подобных одна другой крупных седиментационных серий.

В конце 1970-х – начале 1980-х гг. в работах С.Н. Иванова, В.П. Парначева, М.Л. Ключиной, Ф.А. Курбацкой, А.А. Алексеева, А.А. Макушина и ряда других специалистов происходит переоценка геодинамической природы рифейских комплексов Южного и Среднего Урала. По мнению С.Н. Иванова [14–16 и др.], формирование верхнедокембрийских вулканогенно-осадочных образований происходило в континентальных структурах рифтогенного типа. Строение осадочных серий стратотипического разреза рифея отражает в такой интерпретации последовательный ряд событий – от подъема земной коры над зонами внедрения мантийного диапира, зарождения в сводовых частях поднятий грабенов и рифтов и заполнения их грубообломочными молассоидами и вулканитами до появления над ними широких опусканий и озероподобных и/или морских бассейнов. По [44–47] вулканогенно-осадочные ассоциации айского и машакского уровней нижнего и среднего рифея Башкирского мегантиклинория представляют “заполнение” грабеновых структур, а разделяющие их осадочные образования являются отложениями мелководных эпиконтинентальных бассейнов. А.А. Макушин с соавторами [23] предполагали, что в рифее в пределах Башкирского мегантиклинория существовали шельфовые структурно-фациальные зоны (собственно перикратон), конседиментационные краевые поднятия и область континентального склона с активными окраинно-континентальными рифтами, положение которых в разные эпохи не являлось стабильным. По данным Ф.А. Курбацкой [20, 21], Урал в рифее был “межкратонным” прогибом, с его циклическим развитием связано формирование рядов формаций, отражающих чередование периодов растяжения и квазиплатформенных эпох. Близких взглядов придерживался и В.М. Нечеухин [43]. Заложение системы внутрикратонных рифтов (“...структур ...рифтогенного растяжения”) произошло, по его мнению, только в позднем рифее-венде. Для более ранних эпох типичны ареальные рифтогенно-депресссионные процессы.

Следует отметить также представления Л.П. Зоненшайна с соавторами [13] о существовании в позднем докембрии вдоль восточного края Русской платформы мощных осадочных призм пассивных окраин Южно-Уральского палеоокеана. По Е.Е. Милановскому [40], формирование Урало-Монгольского внутриконтинентального пояса име-

ло место за счет ограниченной по масштабам деформации протоконтинентальной коры в ранне-среднем рифее. В более поздней работе Е.Е. Милановский с соавторами [41] указывают, что в раннем рифее на месте современного Урала был сформирован внутриконтинентальный седиментационный бассейн рифтогенного типа. По мнению В.С. Суркова и др. [66], рифейские комплексы перикратонных зон Урала гомологичны пассивным окраинам молодых океанических бассейнов. Сходных взглядов придерживались также А.А. Моссаковский с соавторами [42].

Суммируя рифейско-ранневендскую историю развития Западного Урала, В.Н. Пучков [52, с. 29] отмечает, что “в рифее толщи, с полным основанием могущие рассматриваться как рифтогенные молассоиды, образование которых сопровождается вулканизмом, расположены лишь на двух уровнях – айском и машакском. С некоторой условностью к ним можно отнести зильмердакскую свиту, хотя ее образование не сопровождается рифтовым вулканизмом. С рифтовым эпизодом может связываться образование аршинских вулканитов раннего венда и их возрастных аналогов на Среднем Урале... Остальное время происходило спокойное накопление кварцито-сланцевых и карбонатных толщ мелководного шельфового бассейна, ничем не напоминающих формации зон активного рифтогенеза. Таким образом, пассивное развитие глубокого седиментационного бассейна лишь прерывается... пароксизмами рифтогенеза...”. В позднем венде на рассматриваемой территории имели место складчатость и орогенез.

В работе 2010 г. В.Н. Пучков вновь обращается к анализу геодинамического развития южной части Западного Урала; его выводы суммированы следующим образом [53, с. 21]: “Большая часть этого чрезвычайно длительного периода может быть охарактеризована как развитие глубокого эпикратонного осадочного бассейна, ...осложненное ...эпизодами рифтогенеза примерно 1700, 1550?, 1450?, 1385–1350, 730–610 млн лет назад... Бассейн был тесно связан с авлакогенами края Восточно-Европейской платформы..., образуя с ними единое целое, возможно, в виде тройного сочленения... Лишь в венде (600–550 млн лет назад)... начала формироваться моласса, поскольку значительная (восточная) часть бассейна испытала коллизию, орогенез, метаморфизм... и на ее месте возник складчатый пояс тиманид...”. Эти представления в схематизированном виде показаны на рис. 2.

Камско-Бельский авлакоген. Верхнедокембрийская последовательность данной структуры объединяет кырпинскую (нижний рифей), серафимовскую (средний рифей) и абдулинскую (верхний рифей) серии, а также бижбулякский комплекс (венд) [63, 65]. По [1, 2] на начальных стадиях развития авлакогена в пологих впадинах формирова-

V	17	Орогенез, формирование краевого и межгорных прогибов с верхневендской молассой, интенсивный метаморфизм, термальные купола и офиолитовые сутуры
	16	
	15	
	14	
	13	
Rf ₃	12	Океанический бассейн (пассивная окраина на западе, континентальный склон и океанические формации и разделяющие их микроконтиненты на востоке)
	11	
	10	
	9	
Rf ₂	8	Эпикратонный осадочный бассейн
	7	
	6	
	5	
Rf ₁	4	Внутриконтинентальные рифты
	3	Эпикратонный осадочный бассейн
	2	
	1	Внутриконтинентальные рифты

Рис. 2. Палеогеодинамическая природа осадочных ассоциаций Башкирского мегантиклинория. Реконструкция, основанная на общегеологических данных.

Свиты: 1 – айская (большеинзерская), 2 – саткинская, 3 – бакальская (юшинская), 4 – машакская, 5 – зигальгинская, 6 – зигазино-комаровская, 7 – авзянская, 8 – зильмердакская, 9 – катавская, 10 – инзерская, 11 – миньярская, 12 – укская, 13 – бакеевская и ее аналоги (толпаровская и суировская свиты), 14 – урюкская, 15 – басинская, 16 – кукаркаукая, 17 – зиганская.

Fig. 2. Paleogeodynamic nature of the sedimentary associations of the Bashkir meganticlinorium. Reconstruction based on the general geological data.

Formations: 1 – Ai (Bolshoi Inzer), 2 – Satka, 3 – Bakal (Yusha), 4 – Mashak, 5 – Zigalga, 6 – Zigazino-Komarovo, 7 – Avzyan, 8 – Zilmerdak, 9 – Katav, 10 – Inzer, 11 – Minyar, 12 – Uk, 13 – Bakeevo and its analogues (Tolparovo and Suirovo), 14 – Uryuk, 15 – Basa, 16 – Kukkarauk, 17 – Zigan.

лись тонкозернистые аллювиальные и озерные отложения нижней части прикамской свиты. Во второй половине прикамского времени темпы прогибания и дифференцированные подвижки блоков усилились, в области сноса сформировался расчлененный рельеф, что способствовало накоплению преимущественно грубообломочных терригенных образований. Третья стадия (калтасинское время) характеризовалась трансгрессией мелководноморского бассейна с нарастанием к концу раннего рифея регрессивной тенденции. Т.В. Иванова с соавторами [17] предполагают, что в начале рифея Сарматский щит испытал дробление и на юго-восточной периферии Русской платформы возникла обширная Камско-Бельская впадина грабенного типа. Ее бортами являлись Красноуфим-

ский выступ Башкирского свода, Альметьевский выступ Татарского свода и Оренбургский свод. В раннем рифее в юго-восточной части этой впадины был сформирован комплекс осадочных образований (агидельская, прикамская, калтасинская свиты) мощностью до 10–12 км. В конце раннего рифея в связи с дифференцированным воздыманием на значительной части территории Камско-Бельского авлакогена породы нижнего рифея были в той или иной мере размыты. В среднем рифее на востоке Русской плиты и западном склоне Южного Урала существовал единый бассейн седиментации. В позднем рифее на рассматриваемой территории обособились две зоны интенсивного прогиба – юго-западная (Серноводско-Абдулинский авлакоген) и юго-восточная.

По мнению Е.В. Лозина [22], на юго-восточном склоне Восточно-Европейской платформы в рифее был сформирован ряд микрорифтов, имевших преимущественно субмеридиональную ориентировку. В раннем рифее они были заполнены глубоководными осадками значительной (до 8–11 км) мощности. В среднем рифее микрорифтовые зоны оказались преобразованы в крупный региональный прогиб, который унаследованно развивался как в позднем рифее, так и в венде. Р.Х. Масагутов [24] рассматривает процесс формирования Камско-Бельского авлакогена как многостадийный – повторный рифтогенез в значительной мере усложнил структурный план территории, заложенный в начале раннего рифея, и привел к появлению ряда новых грабеновых прогибов. Предполагается, что уже в раннем рифее Камско-Бельский авлакоген граничил на востоке с океаническим бассейном, в котором существовала островодужная система. В среднем рифее для Камско-Бельского авлакогена было характерно крупноступенчатое строение – западный борт авлакогена представлял собой шельфовую зону, восточные районы которой осложнялись серией прогибов, грабенов и ложбин. В позднем рифее области прогибания в авлакогене заметно сократились.

Несколько иных представлений придерживается В.Н. Пучков [53, с. 20–21], по мнению которого рифейский мегакомплекс Приуралья “...разделен на два комплекса четко выраженным стратиграфическим несогласием в основании среднего рифея..., нарастающим от западного склона Южного Урала (выпадение машакской свиты основания среднего рифея на западе Башкирского мегантиклинория). На этих широтах в пределах Волго-Уральской провинции базальные для серафимовской серии среднего рифея песчаники тукаевской свиты (а местами в микрорифтах на Надеждинской и Орьебашской разведочных площадях – надеждинской свиты) залегают на различных толщах нижнего рифея. Образование рифейского мегакомплекса связано с процессами рифтогенеза в начале рифея, когда в пре-

делах Волго-Уральской провинции образовались К[амско-]Б[ельский]А[влакоген] и С[ерноводско-]А[бдулинский]А[влакоген].... Предполагается, что оно сопровождалось локальным проявлением вулканизма навышской подсвиты айской свиты, развитого на севере Башкирского антиклинория Южного Урала. Дальнейшее развитие авлакогенных структур... связано преимущественно с постумными опусканиями и образованием более широких осадочных бассейнов на месте рифта. ...Вендский комплекс осадков, верхняя часть которого связана с орогенцией тиманид, положил начало формированию верхнего мегакомплекса, образующего осадочный чехол платформы...”. Таким образом, по мнению В.Н. Пучкова [53], формирование рифейских отложений Волго-Уральской области связано с процессами рифтогенеза в самом начале раннего рифея, последующая история этой территории – в основном постумные опускания, приводящие к появлению более широких осадочных бассейнов. Эти представления с некоторыми дополнениями отражены на рис. 3.

В *Учуро-Майском регионе* отложения позднего протерозоя включают учурскую (нижний ри-

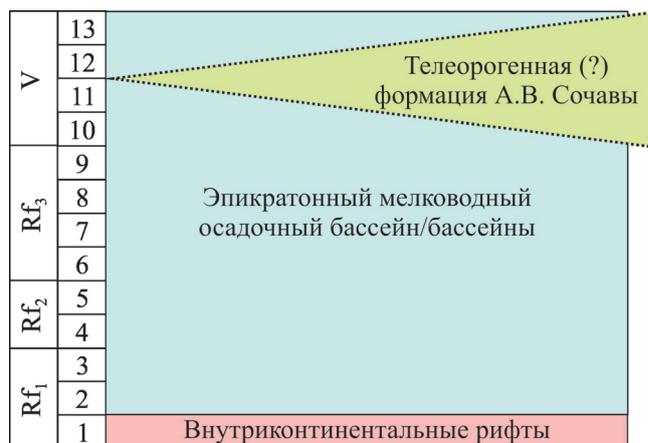


Рис. 3. Палеогеодинамическая природа осадочных ассоциаций Камско-Бельского авлакогена. Реконструкция, основанная на общегеологических данных, по [53] с добавлениями [61].

Свиты: 1 – прикамская, 2 – калтасинская, 3 – надеждинская, 4 – тукаевская, 5 – ольховская, 6 – усинская, 7 – леонидовская, 8 – приютовская, 9 – шиханская, 10 – байкибашевская, 11 – старопетровская, 12 – салиховская, 13 – карлинская.

Fig. 3. Paleogeodynamic nature of the Kama-Belaya aulacogen sedimentary associations. Reconstruction based on the general geological data [53] with additions [61].

Formations: 1 – Prikamsk, 2 – Kaltasy, 3 – Nadezhdino, 4 – Tukaevo, 5 – Ol'khovka, 6 – Usa, 7 – Leonidovo, 8 – Priyutovo, 9 – Shikhan, 10 – Baykibashevo, 11 – Staropetrovo, 12 – Salikhovo, 13 – Karlin.

фей), айманскую и керпыльскую (средний рифей), лахандинскую и уйскую серии (верхний рифей) и юдомскую серию венда [39, 56, 64]. Отложения учурской серии накапливались в мелководном эпикратонном морском бассейне, в котором аккумулярован материал платформенных кор выветривания семиаридного климата [19, 81]. Отложения айманской серии представляют трансгрессивную последовательность мелководного эпикратонного морского бассейна. Керпыльская серия формировалась на фоне крупного трансгрессивного тракта эпиплатформенного морского бассейна, возможно, при некоторой активизации тектонического режима [49]. Лакандинская серия является по сути плащом переотложенных платформенных кор глубокого химического выветривания начала нового трансгрессивного цикла осадконакопления, происходившего в условиях вялого (платформенного или субплатформенного) тектонического режима. С усилением тектонических движений и переходом к формированию платформенного рифтогена связано накопление отложений уйской серии [80, 81]. Завершающая разрез этой серии усть-кирбинская свита характеризуется резкой фациальной изменчивостью со сменой алевроаргиллитовых ассоциаций с кварцевыми и субаркозовыми песчаниками спокойной морской отмели аллювиально-дельтовыми и склоновыми турбидитами, включающими потоки и силлы диабазов [51, 67, 81]. В турбидитовых горизонтах граувакковые и лититовые песчаники состоят в основном из продуктов разрушения местных поднятий рифтогена, в то время обломочный материал фундамента платформы и рифейских отложений был основным источником субаркозовых и кварцевых песчаников серии [19, 75, 81]. Вендскому этапу развития региона в Юдомо-Майском прогибе отвечает юдомская серия. Вендская трансгрессия сопровождалась формированием циклично построенной последовательности терригенно-карбонатных отложений, в которой песчаники играют подчиненную роль. В целом осадконакопление происходило на фоне нарастающего погружения передового прогиба и формирования шельфового морского бассейна. Складчатость и орогенез на рассматриваемой территории проявились в начале палеозоя [49, 80, 81]. В обобщенном виде геодинамические обстановки накопления осадочных ассоциаций рифея и венда Учуро-Майского региона суммированы на рис. 4.

Несколько иначе трактуется позднекембрийская история данного региона в работе [39]. По мнению авторов этой публикации в рифее на рассматриваемой территории существовала обширная пассивная окраина. Стабильный в пределах края Сибирской платформы перикратонный шельф испытывал восточнее, в пределах кромки (trailing edge), интенсивное прогибание. Особо подчеркива-

V	13	Орогенез, формирование предгорного прогиба, выполненного молассой
	12	
Rf ₃	11	Внутриконтинентальные рифты
	10	Пассивная континентальная окраина (?)
	9	Эпикратонный мелководный осадочный бассейн/бассейны
8		
Rf ₂	7	Активизированный (?) эпикратонный бассейн
	6	
	5	Эпикратонный мелководный осадочный бассейн/бассейны
	4	
Rf ₁	3	Эпикратонный мелководный осадочный бассейн/бассейны
	2	
	1	

Рис. 4. Палеогеодинамическая природа осадочных ассоциаций Учуро-Майского региона. Реконструкция, основанная на общегеологических данных.

Свиты: 1 – трехгорная, 2 – димская, 3 – талынская, 4 – светлинская, 5 – тоттинская, 6 – малгинская, 7 – ципандинская, 8 – нуруенская, 9 – игниканская, 10 – кандыкская, 11 – усть-кирбинская, 12 – айманская, 13 – усть-юдомская.

Fig. 4. Paleogeodynamic nature of the Uchur-Maya region sedimentary associations. Reconstruction based on general geological data.

Formations: 1 – Trekhgornaya, 2 – Dimsk, 3 – Talyn, 4 – Svetlino, 5 – Totta, 6 – Malgin, 7 – Tsipand, 8 – Neruen, 9 – Ignikan, 10 – Kandyk, 11 – Ust'-kirbin, 12 – Aim, 13 – Ust'-Yudoma.

ется сохранение данного тектонического плана на протяжении всего рифея, несмотря на значительные тектонические события, приуроченные к границам раннего и среднего, а также среднего и позднего рифея. В венде-среднем кембрии преимущественно спокойные тектонические обстановки сменяются складчатостью и орогенезом, сопровождаемыми становлением разнообразных магматических комплексов [39].

МАТЕРИАЛ И ПОДХОДЫ К ЕГО АНАЛИЗУ

Всего в нашем банке данных учтены сведения о валовых химических составах почти 560 образцов песчаников (Башкирский мегантиклинорий – 309 образцов; Камско-Бельский авлакоген – 118 образцов; Учуро-Майский регион – 132 образца). Содержания основных петрогенных оксидов, а также редких и рассеянных элементов в них определены как классическим, так и рентген-флуоресцентными методами, а также методом ICP-MS в ПГО “Башкиргеология” и “Севзапгеология”, ИГ БФАН СССР, ИГГ УрО РАН и ВСЕГЕИ.

Основным методом анализа указанных данных явилось рассмотрение особенностей распределения фигуративных точек состава псаммитов на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами [82], Б. Розера и Р. Корша [86], а также С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина [89]. Кроме того, для псаммитов верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Учуро-Майского региона использована треугольная диаграмма Th–La–Sc [74].

Прежде чем обратиться к рассмотрению закономерностей распределения фигуративных точек псаммитов на тех или иных диаграммах, важно подчеркнуть следующее. В основу подхода Дж. Мейнарда с соавторами [82] положено представление о том, что многократно рециклированные, наиболее зрелые в минералогическом, структурном и химическом отношении терригенные образования, свойственные преимущественно областям со спокойной тектоникой (платформенные области и пассивные континентальные окраины), характеризуются преобладанием K_2O над Na_2O и SiO_2 над Al_2O_3 . Это ведет к локализации точек их состава в правой верхней части диаграммы $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$. Напротив, присущие областям активной тектоники структурно, минералогически и химически незрелые породы (граувакки и им подобные образования активных континентальных окраин) характеризуются относительно небольшими величинами обоих указанных параметров и тяготеют к левой нижней части диаграммы. Однако рассматриваемая диаграмма не позволяет разграничить граувакки и лититовые песчаники островодужных и коллизионных обстановок, что в определенной мере сужает ее применение.

Примерно такой же принцип¹ заложен в основу диаграммы SiO_2-K_2O/Na_2O [86], на которой выделены три поля: терригенных образований пассивных континентальных окраин, активных континентальных окраин и океанических островных дуг. Составы зрелых (многократно рециклированных) терригенных образований тяготеют к верхней правой части этой диаграммы, тогда как точки незрелых лититовых и граувакковых песчаников концентрируются в ее левой нижней части. Иногда указанные особенности обеих диаграмм можно использовать без жесткой привязки к выделенным на них полям песчаников и глинистых пород различных геодина-

мических обстановок, рассматривая, например, вариации составов псаммитов во времени от образований относительно спокойных тектонических обстановок к более активным и т.д.

В 2013 г. С. Верма и Дж. Армстронгом-Алтрином [89] предложены новые дискриминантные диаграммы для терригенных пород с высоким (63–95%) и низким (35–63%) содержанием SiO_{2adj} . Границы классификационных полей песчаников и глинистых пород рифтогенных, островодужных и орогенных обстановок на указанных диаграммах проведены на основе специального расчета вероятности. Эталонными объектами для их разработки послужили неоген-четвертичные терригенные образования Курило-Камчатской, Японской, Рюкю, Филиппинской, Тонга, Андаманской, Алеутской и другие островных дуг, рифтов Мексики, Калифорнии, Бразилии, Испании, Уганды, Китая, Монголии, а также коллизионных зон Непала, Индии, Ирана, Италии, Чехии, Сербии и ряда других регионов. Для диаграммы с $63\% < (SiO_2)_{adj} < 95\%$ “проценты соответствия” для образцов из островодужных, рифтогенных и коллизионных обстановок варьировали, по данным [89], в пределах 94–96%, 79–85% и 83–88%. Для диаграммы с $(SiO_2)_{adj}$ от 35 до 63% для тех же обстановок “проценты соответствия” были равны ~90%, 75–92% и 96–100%, что заметно выше, чем присуще дискриминантным палеогеодинамическим диаграммам 1980-х гг.

Сопоставление “возможностей” дискриминантных диаграмм первого (середина 1980-х гг.) и второго (начало 2010-х гг.) поколений выполнено нами на примере осадочных последовательностей разного возраста и геодинамической природы [38]. Установлено, что на диаграммах первого поколения точки терригенных образований рифтогенных обстановок, сосредоточены в основном в поле пассивных континентальных окраин, показывая тем самым, что формирование осадочных последовательностей этого класса произошло под влиянием достаточного спокойных тектонических процессов. На диаграмме $(Fe_2O_3)_{общ} + MgO-Al_2O_3/SiO_2$ М. Бхатиа совокупность их распределена во всех классификационных полях, что делает невозможным ее использование при работе с подобными осадочными ассоциациями. От ~60 до 75% фигуративных точек пород коллизионных обстановок сосредоточено на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами в поле пассивных континентальных окраин. На диаграмме Б. Розера и Р. Корша более половины точек этого класса обстановок сконцентрировано в поле активных континентальных окраин. Принципиальные отличия между платформенными и рифтогенными образованиями, а также отложениями пассивных окраин из проанализированного нами банка данных на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами и Б. Розера и Р. Корша не на-

¹ Таким образом, и на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами, и на диаграмме Б. Розера и Р. Корша присутствуют как песчаники первого цикла (петрогенные), так и псаммиты, многократно переотложенные (литогенные). Валовые химические составы первых в существенной мере сопоставимы (в значительной мере наследуют) с составами пород в областях размыва/источника сноса, составы вторых отражают уже не состав размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород, а в большей или меньшей мере контролируются особенностями процессов осадконакопления собственно в бассейнах седиментации.

блюдаются. На диаграмме DF_1-DF_2 ($SiO_{2adj} > 63\%$) С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина точки песчаников и глинистых пород платформенных, рифтогенных и коллизионных ассоциаций характеризуются примерно одинаковым распределением. Контуры областей большинства перечисленных ассоциаций занимают, как правило, часть рифтогенного и часть коллизионного классификационных полей.

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПСАММИТОВ

Общие особенности валового химического состава песчаников всех трех объектов, о которых идет речь в настоящей публикации, можно оценить на основе распределения их точек на классификационной диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$ [48]. В основу разделения песчаников на разные группы при разработке данной диаграммы положен геохимический подход, отражающий соотношение в породах кварца, полевых шпатов и глинистых минералов, – чем дальше основные компоненты каркаса песчаников подвергаются переносу (либо многократному переотложению) и чем дальше от источника сноса они накапливаются, тем больше выражена в них тенденция к обогащению кварцем по сравнению с другими минералами. Для незрелых песчаников характерны низкие (<1.3) значения $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ и, наоборот, высокие (>0) величины $\log(Na_2O/K_2O)$, тогда как для зрелых (кварцевые арениты) – высокие (>1.7) $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ и низкие (<0) $\log(Na_2O/K_2O)$.

Точки состава песчаников рифея и венда Башкирского мегантиклинория расположены на указанном графике преимущественно в полях аркозов, субаркозов, лититов, сублититов и кварцевых аренитов (рис. 5а). Практически нет их только в поле собственно граувакк. Существенная часть псаммитов (в основном породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея, машакской свиты среднего рифея и большеинзерской свиты бурзяния) характеризуется значениями $\log(Na_2O/K_2O) < -1.0$, что выводит их “за рамки” классических полей песчаников диаграммы Ф.Дж. Петтиджона с соавторами.

Песчаники верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена на диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$ локализованы в основном в полях аркозов, лититов и субаркозов (рис. 5б). Относительно небольшая часть их попадает в поля граувакк и сублититов. Кварцевых аренитов в разрезах рифея и венда Камско-Бельского авлакогена, в отличие от верхнедокембрийской последовательности Башкирского мегантиклинория, нет. Песчаники леонидовской свиты, имеющие практически мономинеральный кварцевый состав и существенную долю каолинового цемента, на диаграмме

Ф.Дж. Петтиджона с соавторами сосредоточены в основном в полях субаркозов и лититов. Величины $\log(Na_2O/K_2O) < -1.0$ свойственны всего 5 исследованным нами образцам. Это в значительной степени отличает песчаники верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена от разновозрастных с ними образований Башкирского мегантиклинория.

Псаммиты Учуро-Майского региона – это лититы, аркозы и кварцевые арениты. Часть их фигуративных точек присутствует в поле граувакк (рис. 5в). Примечательно, что практически нет точек песчаников в полях субаркозов и сублититов. Почти все точки псаммитов гонамской и омахтинской свит нижнего рифея Учурской впадины по величине $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ отвечают аркозам, а по параметру $\log(Na_2O/K_2O)$ заметно отличаются от классических пород этого класса в понимании Ф.Дж. Петтиджона с соавторами. Подобное распределение точек составов аркозовых песчаников нижнего рифея Учурской впадины, как и части аркозов Башкирского мегантиклинория (бирьянская подсвита зильмердакской свиты, породы с величинами $\log(Na_2O/K_2O) < -1.0$) обусловлено их минеральным составом – преобладанием первично-обломочного калиевого полевого шпата и замещающих его К-слюд при практически полном отсутствии типичного для фанерозойских, даже платформенных (!), отложений обломочного кислого плагиоклаза. Не исключая влияния процессов рециклирования, способствовавших “выносу” натрия из кластогенных осадков, такой состав нижнерифейских песчаников Учурской впадины отражает, вероятно, некоторую специфику процессов осадконакопления – влияние продуктов субсинхронного калиевого вулканизма в условиях субаридного климата.

Таким образом, каждая из рассматриваемых нами далее мегапоследовательностей верхнего докембрия характеризуется весьма пестрым составом слагающих ее псаммитов, накапливавшихся в широком спектре палеогеографических и палеогеодинамических обстановок. Наша основная задача – оценить насколько соответствуют суждения об их природе, основанные на общегеологических подходах, тем выводам, что могут быть получены при использовании охарактеризованных ранее дискриминантных диаграмм.

ПОЛОЖЕНИЕ ПСАММИТОВ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ДИАГРАММАХ

В данном разделе рассмотрено распределение точек состава верхнедокембрийских песчаников Башкирского мегантиклинория, Камско-Бельского авлакогена и Учуро-Майского региона на разных дискриминантных диаграммах вначале вне зависимости от палеогеодинамической природы тех или иных их ассоциаций, а затем – с учетом представ-

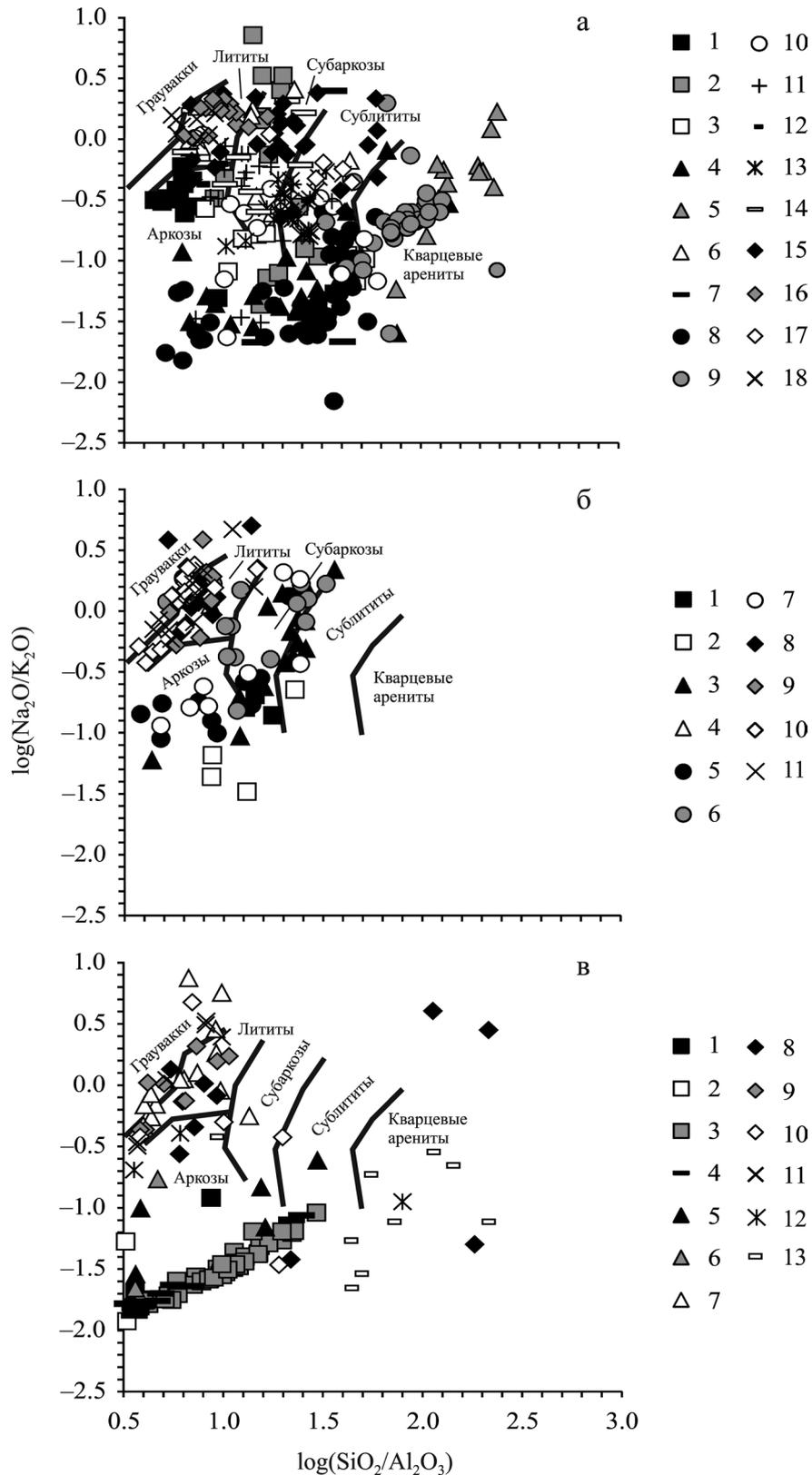


Рис. 5. Положение фигуративных точек состава песчаников рифея и венда Башкирского мегантиклинория (а), Камско-Бельского авлакогена (б) и Учуро-Майского региона (в) на диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$.

а. Свиты, подсвиты: 1 – айская, 2 – большеинзерская, 3 – юшинская, 4 – машакская, 5 – зигальгинская, 6 – зигазино-комаровская, 7 – авзянская, 8 – бирьянская, 9 – лемезинская, 10 – бедерьшинская, 11 – инзерская, 12 – бакеевская, 13 – толпаровская, 14 – суировская, 15 – урюкская, 16 – басинская, 17 – куккараукская, 18 – зиганская.

б. Свиты: 1 – прикамская, 2 – надеждинская, 3 – тукаевская, 4 – ольховская, 5 – усинская, 6 – леонидовская, 7 – приютовская, 8 – байкибашевская, 9 – старопетровская, 10 – салиховская, 11 – карлинская.
в. Свиты, серии: 1 – трехгорная, 2 – димская, 3 – гонамская, 4 – омахтинская, 5 – талынская, 6 – светлинская, 7 – тоттинская, 8 – кандыкская, 9 – малосахаринская, 10 – рябиновская, 11 – далындинская, 12 – усть-кирбинская, 13 – юдомская.

Fig. 5. Location of data points of the Riphean and Vendian sandstones of the Bashkir meganticlinorium (a), Kama-Belaya aulacogene (б) and Uchur-Maya region (в) on the diagram $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$.

а. Formations and members: 1 – Ai, 2 – Bolshoi Inzer, 3 – Yushin, 4 – Mashak, 5 – Zigalga, 6 – Zigazino-Komarovo, 7 – Avzyan, 8 – Biryau, 9 – Lemeza, 10 – Bederysh, 11 – Inzer, 12 – Bakeevo, 13 – Tolparovo, 14 – Suirovo, 15 – Uryuk, 16 – Balsa, 17 – Kukkarauk, 18 – Zigan.

б. Formations: 1 – Prikamsk, 2 – Nadezhdino, 3 – Tukaevo, 4 – Ol'khovka, 5 – Usa, 6 – Leonidovo, 7 – Priyutovo, 8 – Baykibash, 9 – Staropetrovo, 10 – Salikhovo, 11 – Karlin.

в. Formations and series: 1 – Trekhgornaya, 2 – Dimsk, 3 – Gonam, 4 – Omakht, 5 – Talyn, 6 – Svetlino, 7 – Totta, 8 – Kandyk, 9 – Malosaharinская, 10 – Ryabinovskaya, 11 – Dalynd, 12 – Ust-Kirba, 13 – Yudoma.

лений об их природе, полученных на основе общегеологических данных.

На диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами фигуративные точки практически всех псаммитов рифея и венда Башкирского мегантиклинория сосредоточены в поле пассивных континентальных окраин. Естественно, что при внимательном исследовании графика можно обнаружить, что максимальными значениями $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ характеризуются песчаники зигальгинской свиты, а также бирьянской и лемезинской подсвит зильмердакской свиты, точки которых расположены в правом верхнем углу диаграммы, существенно меньшими величинами указанных параметров обладают псаммиты басинско-зиганского интервала ашинской серии (рис. 6а). Их точки состава локализованы преимущественно в центре графика. Это позволяет считать, что обстановки их накопления были в тектоническом отношении более активными, чем обстановки формирования псаммитов практически всех уровней типового разреза рифея.

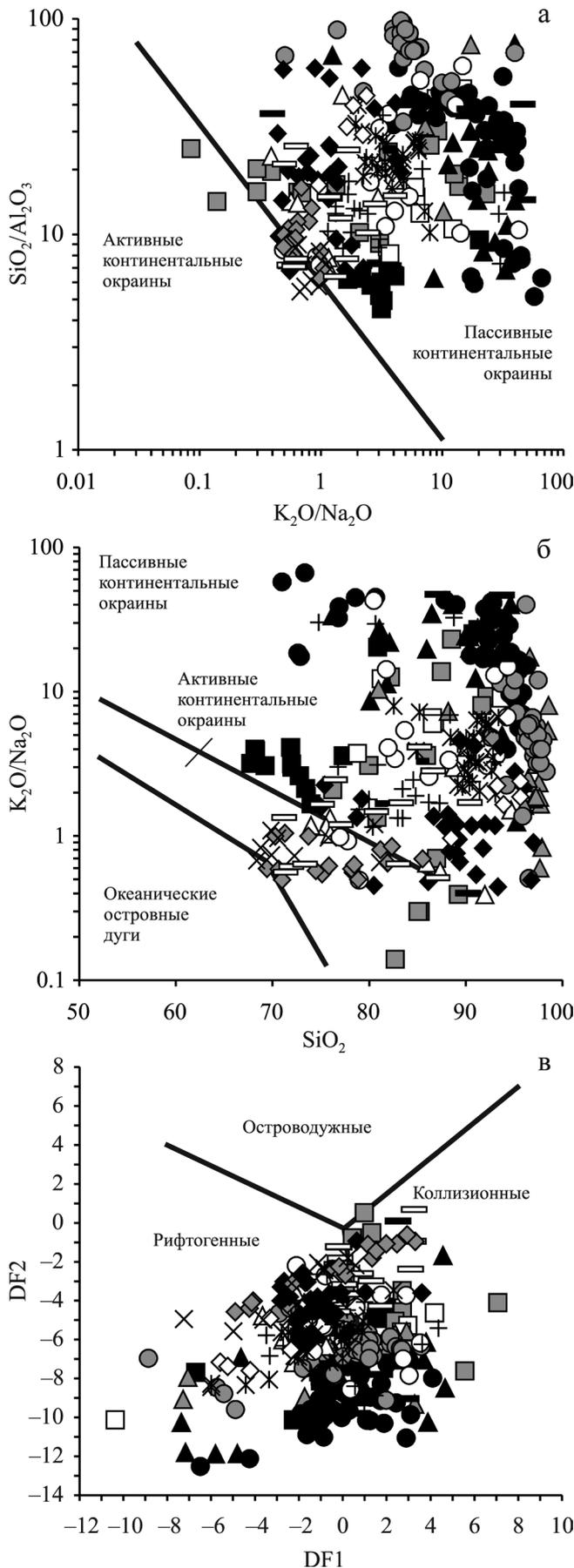
Точки псаммитов рифея Камско-Бельского алакогена на рассматриваемой диаграмме также расположены в поле пассивных континентальных окраин (рис. 7а). Разброс свойственных им значений $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ весьма велик. В то же время песчаники байкибашевской, старопетровской, салиховской и карлинской свит венда локализованы более компактно и тяготеют к центральной части графика, что вполне обоснованно можно интерпретировать как результат формирования их в более активных тектонических обстановках.

Фигуративные точки состава песчаников рифея и венда Учуро-Майского региона на диаграмме $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ в основном также сосредоточены в поле пассивных континентальных окраин. Часть точек псаммитов тоттинской, далындинской, кандыкской и малосахаринской свит присутствует как в указанном поле, так и в области составов, характерных для активных континентальных окраин (рис. 8а). Из сказанного можно сделать вывод, что накопление указанных образований происходило в несколько более активных тектонических обстановках, чем песчаников других

уровней верхнего докембрия Учуро-Майского региона. Наиболее зрелыми среди последних являются псаммиты гонамской и омахтинской свит нижнего рифея Учурской впадины. Весьма своеобразно распределены на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами точки псаммитов венда. При относительно небольшом разбросе значений $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, они характеризуются разбросом величин $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ от ≈ 5 до ≈ 1000 , что связано с высокой минералогической зрелостью песчаников, кластогенный материал которых испытал многократное рециклирование с полным выносом натровых алюмосиликатов, но относительным накоплением калиевых полевых шпатов и светлых аллотигенных и аутигенных К-слюд.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что на диаграмме $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ различия между распределением областей состава песчаников эпикратонных (юшинская, зигальгинская, зигазино-комаровская и авзянская свиты) и рифтогенных (айская и машакская свиты) ассоциаций западного склона Южного Урала отсутствуют (рис. 9а). Практически в тех же, что и перечисленные ассоциации, контурах локализованы на рассматриваемом графике и точки состава псаммитов орогенных/коллизийных образований (басинская, кукаркаукая и зиганская свиты). Возможно, что формирование всего комплекса верхнедокембрийских песчаников Башкирского мегантиклинория происходило в принципиально не слишком сильно отличавшихся обстановках. В противном случае следует признать, что большинство палеогеодинамических реконструкций, основанных на общегеологических данных, для данной территории некорректны, или, что диаграмма Дж. Мейнарда с соавторами не позволяет разграничить доорогенные и орогенные обломочные образования.

Орогенные (венд) и эпикратонные (трехгорная, димская, гонамская, омахтинская, талынская и светлинская свиты) ассоциации песчаников верхнего докембрия Учуро-Майского региона на этой же диаграмме сконцентрированы в основном в поле пассивных континентальных окраин (рис. 9б). Области составов песчаников рифтогенных ассо-



циаций (малосахаринская, рябиновская, дальиндинская и усть-кирбинская свиты) расположены и в этом поле, и в поле активных континентальных окраин. Так, среди 7 образцов песчаников малосахаринской свиты в поле составов, характерных для пассивных континентальных окраин, попало 4 образца (~57%), а в поле активных континентальных окраин – 3 образца (43%). Все в целом это демонстрирует определенные различия в распределении областей однотипных в палеогеодинамическом плане песчаниковых ассоциаций верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона.

На диаграмме Б. Розера и Р. Корша точки состава песчаников рифея западного склона Южного Урала в основном локализованы в поле пассивных континентальных окраин (см. рис. 6б); при этом максимально высокие содержания оксида кремния и параметра K_2O/Na_2O присущи псаммитам зигальгинской свиты, а также бирьянской и лемезинской подсвит зильмердакской свиты каратавия. В то же время львиная доля точек псаммитов трех верхних свит ашинской серии, а также часть точек песчаников суировской (венд) и большеинзерской (нижний рифей) свит тяготеют к полю активных континентальных окраин. Промежуточное положение между названными совокупностями занимают песчаники инзерской (верхний рифей) и урюкской (венд) свит, а также бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты. Все сказанное позволяет утверждать, что, как и на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами, песчаники басинской, куккараукской и зиганской свит венда Башкирского мегантиклинория локализованы на рассматриваемом графике в областях значений SiO_2 и K_2O/Na_2O , характерных для терригенных образований, накапливавшихся в тектонически более активных обстановках, чем подавляющее большинство псаммитов рифея.

Еще более ярко разграничение псаммитов рифея и венда на диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O проявлено в разрезах Камско-Бельского авлакогена (см. рис. 7б). Среднее содержание оксида кремния в песчаниках рифея составляет $\sim 85.3 \pm 9.7\%$, а в пес-

Рис. 6. Положение фигуративных точек состава песчаников верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами (а), Б. Розера и Р. Корша (б) и С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина (в).

Условные обозначения см. на рис. 5а.

Fig. 6. Location of the data points of the Upper Precambrian sandstone of the Bashkir meganticlinorium on the Maynard et al. (a), B.R. Roser and R. Korsch (б) and S. Verma and J. Armstrong-Altrin (в) diagrams.

Symbols see fig. 5a.

чаниках венда – только $75.2 \pm 5.7\%$. Параметр K_2O/Na_2O в псаммитах рифея равен 5.0 ± 8.0 (минимум – 0.04, максимум – 51.52), а в песчаниках бижбулякского комплекса он составляет всего $0.9 \pm \pm 0.6$. С учетом того, что рядом авторов отложения названного комплекса рассматриваются как нескладчатая моласса [35, 37 и ссылки этих работах], указанные особенности распределения песчаников рифея и венда можно считать отражением разных палеогеодинамических обстановок их накопления.

На диаграмме Th–La–Sc точки состава псаммитов верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена сконцентрированы в полях: 1) активных и пассивных континентальных окраин; 2) континентальных островных дуг (рис. 10а). Внимательное ее рассмотрение позволяет видеть, что в последнем поле сосредоточены в основном точки песчаников старопетровской, салиховской и карлинской свит бижбулякского комплекса. Если обратиться к анализу распределения на данной диаграмме областей псаммитов разной, по общегеологическим данным, палеогеодинамической природы (рис. 10б), то хорошо видно, что между песчаниками рифтогенной и эпикратонной ассоциаций какого-либо существенного различия по соотношению La, Th и Sc нет. Существенное перекрытие с двумя указанными областями имеют и псаммиты венда, принадлежащие к телеорогенной формации А.В. Сочавы [61].

Песчаники верхнего докембрия Учуро-Майского региона на диаграмме Б. Розера и Р. Корша также демонстрируют определенную дифференциацию (см. рис. 8б). Обладающие максимально высокими величинами K_2O/Na_2O песчаники омахтинской и гонамской свит нижнего рифея сосредоточены в самой верхней части рассматриваемого графика. Промежуточное между ними и песчаниками уйской серии и тоттинской свиты, точки состава которых сосредоточены в основном в поле активных континентальных окраин, положение занимают точки псаммитов кандыкской свит. Интересно, что псаммиты венда на данной диаграмме сосредото-

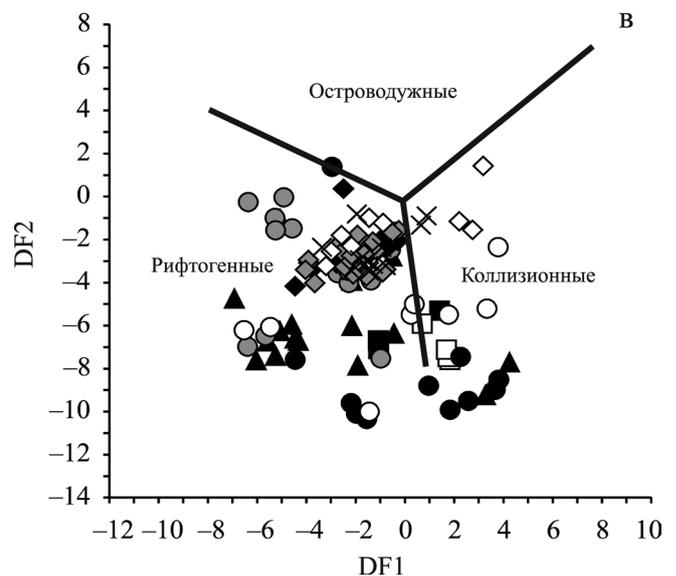
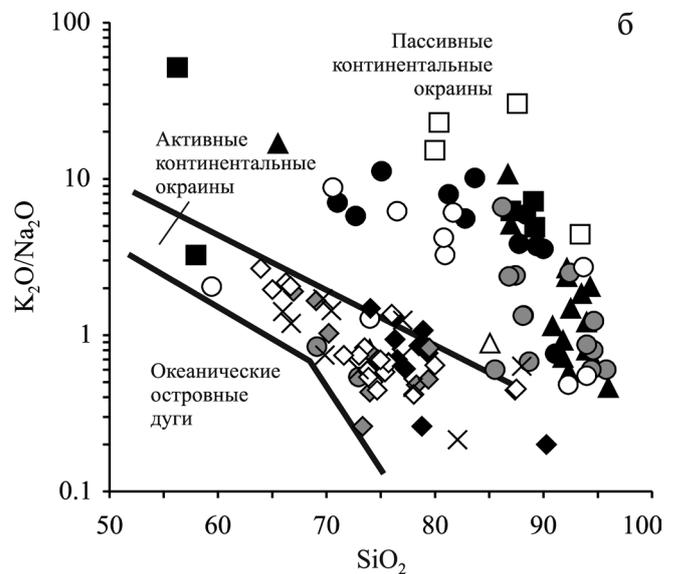
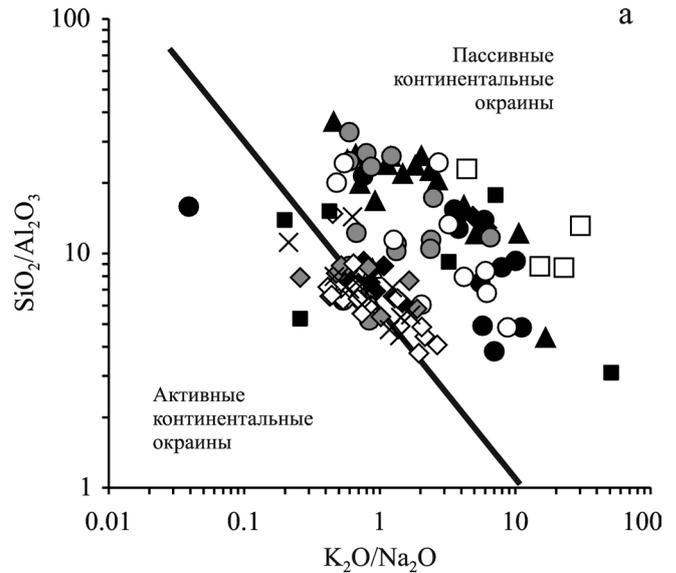
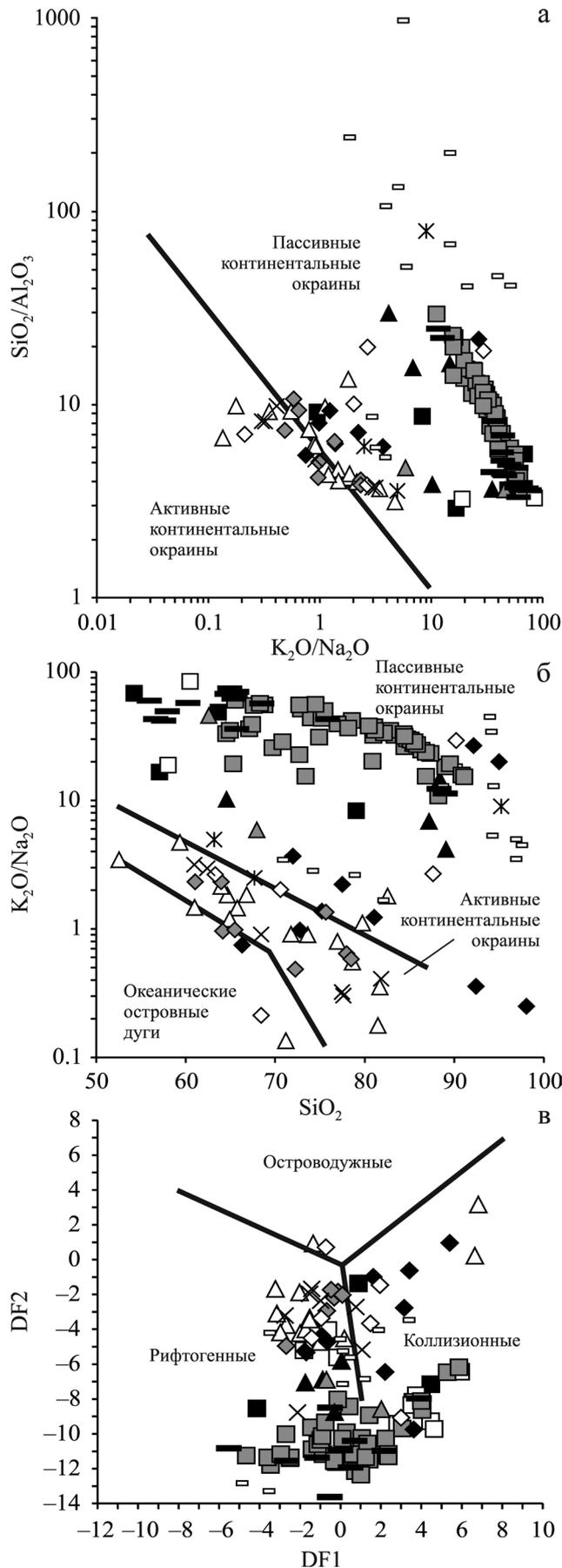


Рис. 7. Положение фигуративных точек состава песчаников верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами (а), Б. Розера и Р. Корша (б) и С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина (в).

Условные обозначения см. на рис. 5б.

Fig. 7. Location of the data points of the Upper Precambrian sandstones of the Kama-Belsky aulacogene on the Maynard et al. (a), B.R. Roser and R. Korsch (б) and S. Verma and J. Armstrong-Altrin (в) diagrams.

Symbols see fig. 5б.



точены исключительно в поле составов, характерных для терригенных отложений спокойных в тектоническом отношении обстановок.

В итоге можно считать, что на диаграмме SiO_2 – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ различия в распределении полей, с одной стороны, предположительно орогенных/коллизионных песчаных ассоциаций западного склона Южного Урала, а с другой – также предположительно рифтогенных и эпикратонных ассоциаций, выражены отчетливее, чем на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами (см. рис. 9в). Первые локализованы преимущественно в поле активных континентальных окраин, вторые – в поле терригенных образований пассивных континентальных обстановок. Следовательно, данная диаграмма в рассматриваемом нами примере как будто бы позволяет с той или иной степенью достоверности различить различные по общегеологическим данным палеогеодинамические ассоциации псаммитов.

Песчаники эпикратонных и орогенных ассоциаций верхнего докембрия Учуро-Майского региона на диаграмме Б. Розера и Р. Корша сосредоточены, в отличие от псаммитов Башкирского мегантиклинория, в поле составов терригенных пород, характерных для пассивных континентальных окраин (см. рис. 9г). Точки составов песчаников, принадлежащих рифтогенным ассоциациям, напротив, присутствуют как в поле пассивных, так и активных континентальных окраин. Таким образом, и в этой ситуации, как и в ситуации с диаграммой Дж. Мейнарда с соавторами, можно видеть различное распределение на диаграмме SiO_2 – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ областей составов одинаковых по общегеологическим данным палеогеодинамических ассоциаций песчаников.

На диаграмме Th–La–Sc фигуративные точки песчаников рифея и венда Учуро-Майского региона, также как и псаммитов Башкирского мегантиклинория в основном распределены в полях континентальных окраин и континентальных островных дуг (рис. 11а). Однако в последнем в основном сосредоточены точки состава песчаников малосахаринской, рябиновской и далындинской свит, встречаются также точки псаммитов тоттинской и кан-

Рис. 8. Положение фигуративных точек состава песчаников верхнего докембрия Учуро-Майского региона на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами (а), Б. Розера и Р. Корша (б) и С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина (в).

Условные обозначения см. на рис. 5в.

Fig. 8. Location of the data points of the Upper Precambrian sandstones of the Uchur-Maya region on the Maynard et al. (a), B.R. Roser and R. Korsch (б) and S. Verma and J. Armstrong-Altrin (в) diagrams.

Symbols see fig. 5в.

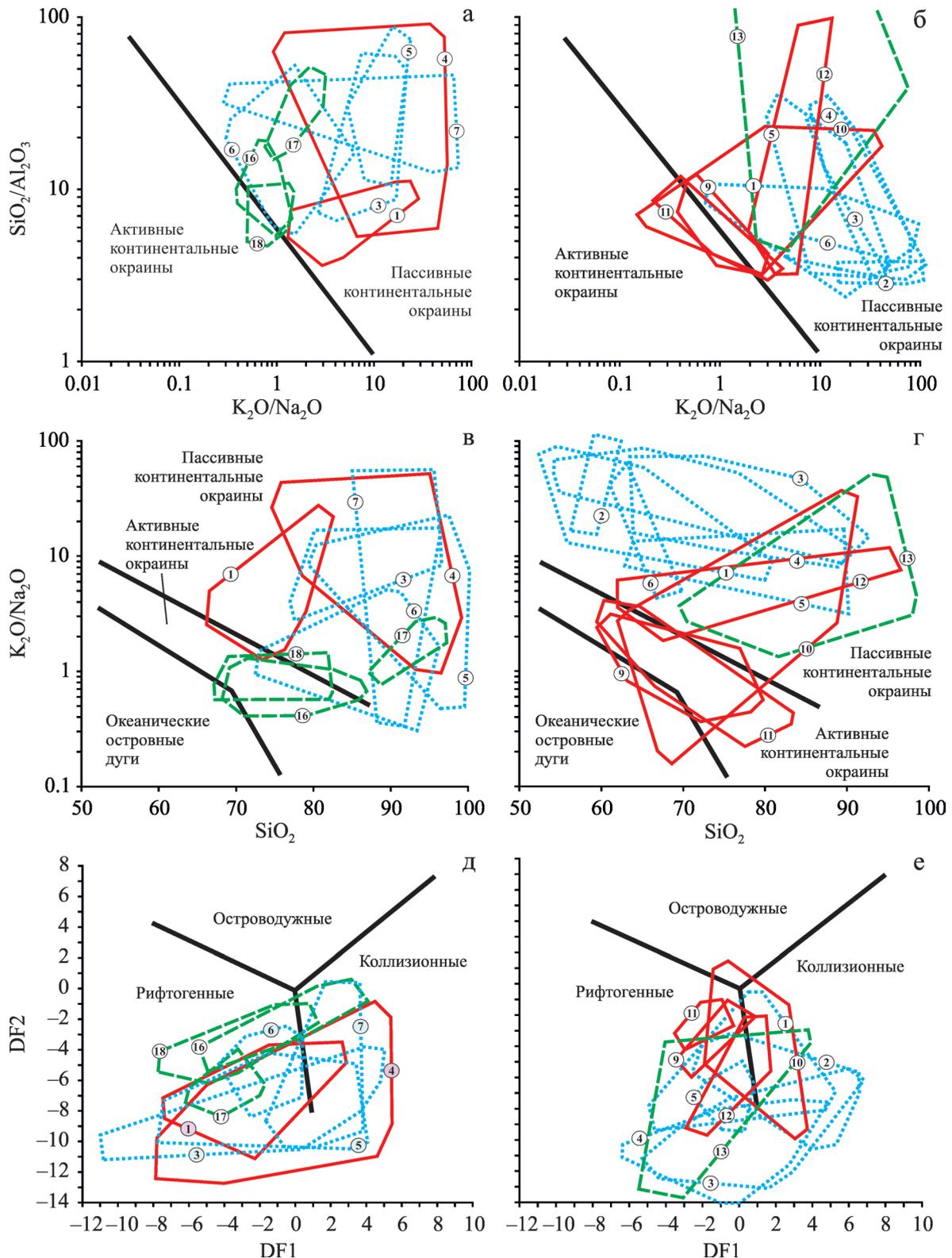


Рис. 9. Положение областей состава песчаников различной палеогеодинамической природы (красные линии – рифтогенные ассоциации, синие – эпикратонные ассоциации, зеленые – орогенные ассоциации) верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория (а, в, д) и Учуро-Майского региона (б, г, е) на диаграммах Дж. Мейнарда с соавторами (а, б), Б. Розера и Р. Корша (в, г) и С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина (д, е).

Цифрами в кружках обозначены области песчаников разных литостратиграфических единиц в соответствии с данными рис. 5б, в.

Fig. 9. Location of the different paleogeodynamic nature sandstone (red line – rift associations, blue lines – epicraton associations, green line – orogenic associations) of the Upper Precambrian Bashkir meganticlinorium (a, в, д) and Uchur-Maya region (б, г, е) on the J. Maynard et al. (a, б), B. Roser and R. Korsch (в, г) and S. Verma and J. Armstrong-Altrin (д, е) diagrams.

The numbers in the circles marked area of the sandstones different lithostratigraphic units in accordance with the data of fig. 5б, в.

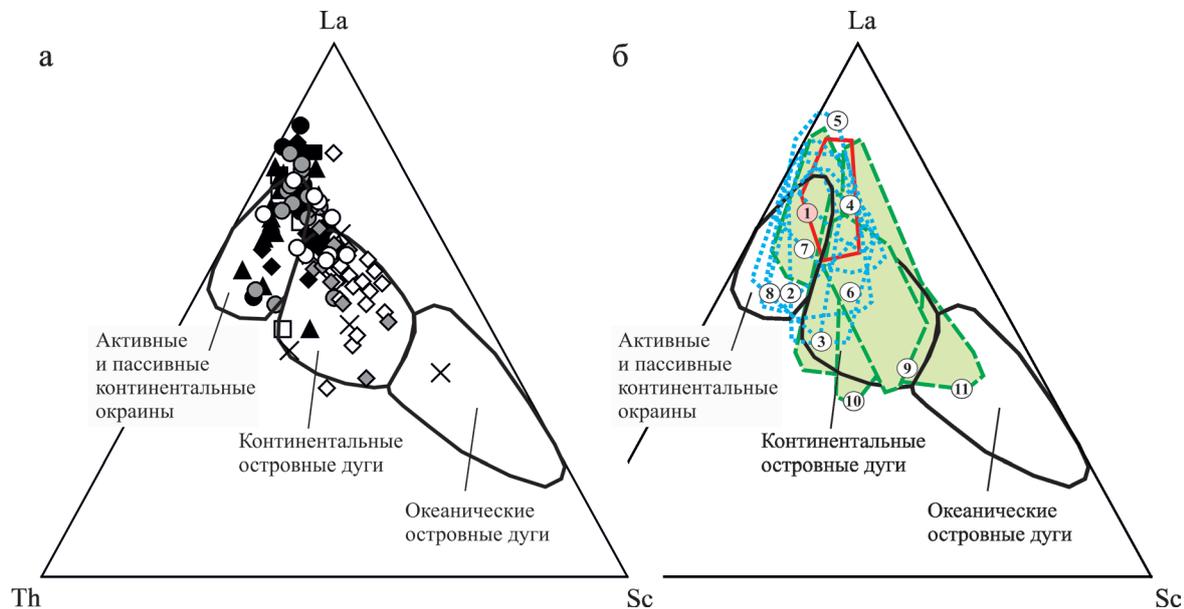


Рис. 10. Положение фигуративных точек состава песчаников разных уровней разреза (а) и разной палеогеодинамической природы (б) рифея и венда Камско-Бельского авлакогена на диаграмме Th–La–Sc.

Цифрами в кружках обозначены области песчаников в соответствии с данными рис. 5б.

Fig. 10. The position of data points of the Riphean and Vendian Kama-Belaya aulacogene sandstones of the various lithostratigraphic levels (a) and various paleogeodynamic nature (б) on the Th–La–Sc diagram.

The numbers in the circles marked sandstones field in accordance with the data of fig. 5б.

дыкской свит. Области песчаников данного региона, принадлежащие ассоциациям рифтогенной и эпикратонной природы, характеризуются почти 100-процентным перекрытием (рис. 11б), что, как мы видели ранее, присуще и псаммитам рифея западного склона Южного Урала, тогда как область псаммитов орогенной природы несколько обособлена от них.

На высокремнистой диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина примерно 2/3 точек состава псаммитов верхнего докембрия западного склона Южного Урала локализованы в поле рифтогенных образований, а около 1/3 сосредоточены в поле пород коллизионных обстановок (см. рис. 6в); среди последних присутствует часть точек псаммитов большеинзерской, юшинской, машакской, зильмердакской, инзерской и суировской свит.

Около 15–17% фигуративных точек состава песчаников верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена сосредоточено на диаграмме DF_1 – DF_2 в

поле коллизионных образований (см. рис. 7в). Среди них представлены как псаммиты надеждинской, усинской, тукаевской и приютовской свит рифея, так и песчаники салиховского и карлинского уровней венда. Остальная часть точек песчаников Камско-Бельского авлакогена из нашего банка данных тяготеет к полю рифтогенных образований.

Число точек песчаников верхнего докембрия Учуро-Майского региона, расположенных на диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина в поле составов, характерных для коллизионных обстановок, составляет порядка 30% (см. рис. 8в). В указанном поле присутствуют точки псаммитов тоттинской, гонамской, омахтинской, димской, кандыкской и далындинской свит рифея, а также некоторые фигуративные точки состава песчаников венда. Остальные песчаники из нашей аналитической выборки расположены в поле рифтогенных образований.

Все сказанное показывает, что на диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина области со-

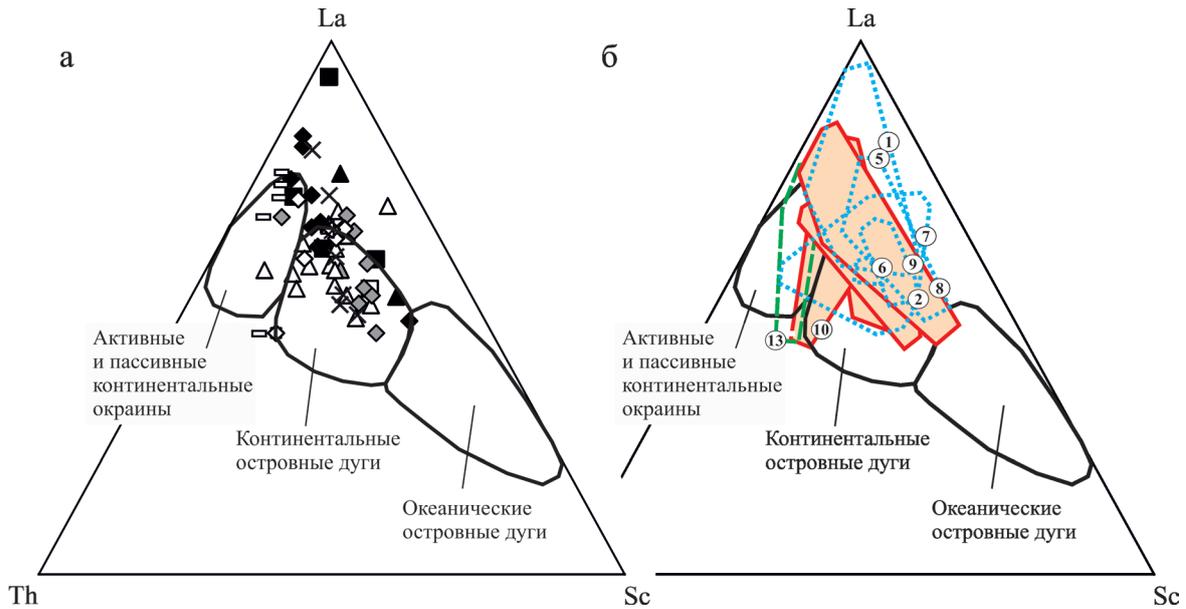


Рис. 11. Положение фигуративных точек состава песчаников разных уровней разреза (а) и разной палеогеодинамической природы (б) рифея и венда Учуро-Майского региона на диаграмме Th–La–Sc.

Цифрами в кружках обозначены области песчаников в соответствии с данными рис. 5в.

Fig. 11. The position of data points of the Riphean and Vendian Uchur-Maya region sandstones of the various lithostratigraphic levels (a) and various paleogeodynamic nature (б) on the Th–La–Sc diagram.

The numbers in the circles marked sandstones field in accordance with the data of fig. 5в.

ставов псаммитов рифея Башкирского мегантиклинория, принадлежащие по общегеологическим данным, к эпикратонным и рифтогенным ассоциациям, занимают поля как рифтогенных, так и коллизионных палеогеодинамических обстановок (рис. 9д). В поле составов терригенных образований, характерных, по представлениям [89], для рифтогенных обстановок в основном сосредоточены фигуративные точки песчаников трех верхних свит ашинской серии, традиционно рассматривающиеся как отложения молассы.

Весьма показательно также то, что на данном графике ни один из 11 образцов песчаников байкибашевской свиты Камско-Бельского авлакогена не попал в поле коллизионных образований. Такая же ситуация характерна для 9 образцов псаммитов старопетровской свиты. Из 22 образцов псаммитов салиховской свиты только 3 (≈14%) локализованы в поле коллизионных образований. Это же свойственно 2 образцам песчаников из 11 (≈18%) карлинского уровня. Однако по общегеологическим данным все указанные образования сформированы на фоне кадомских орогенических событий на Урале.

Распределение фигуративных точек состава песчаников верхнего докембрия Учуро-Майского региона, принадлежащих различным палеогеодинамическим ассоциациям, на диаграмме DF₁–DF₂ напоминает то, что присуще псаммитам западного

склона Южного Урала (см. рис. 9е). Точки песчаников как эпикратонных, так рифтогенных и орогенных ассоциаций присутствуют здесь и в поле составов терригенных образований рифтогенных, и в поле составов коллизионных обстановок. Варьирует только количественное соотношение образцов, принадлежащих каждой из названных выше обстановок. Так, среди вендских песчаников (орогенная ассоциация) около 30% образцов локализовано в поле составов коллизионных обстановок, тогда как порядка 70% – в поле рифтогенных обстановок. Около 86% псаммитов гонамской свиты (эпикратонная ассоциация по общегеологическим представлениям) сосредоточено в поле рифтогенных обстановок, тогда как на димском уровне (также эпикратонная ассоциация) количество образцов песчаников, присутствующих в данном поле составляет всего 33%.

ВЫВОДЫ

Приведенные данные позволяют сделать вполне обоснованный вывод о том, что основанные на общегеологических материалах представления о палеогеодинамической природе осадочных образований верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория, Камско-Бельского авлакогена и Учуро-Майского региона не имеют 100%-го подтверждения данными распределения фигуративных точек

состава песчаников на общеизвестных дискриминантных диаграммах. Так, на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами практически все точки псаммитов верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория сконцентрированы в поле составов пассивных континентальных окраин, на диаграмме Б. Розера и Р. Корша наблюдается некоторая дифференциация точек псаммитов рифея (стабильные тектонические обстановки) и венда (умеренно активная тектоника), а на диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина точки песчаников данной структуры расположены как в поле рифтогенных, так и коллизионных образований. На двух последних диаграммах сходным образом распределены и точки песчаников верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена; на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами псаммиты рифея и венда рассматриваемой структуры также обнаруживают несколько различное распределение. Фигуративные точки состава песчаников верхнего докембрия Учуро-Майского региона на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами присутствуют как собственно в поле пассивных континентальных окраин, так и в переходной между полями пассивных и активных в тектоническом плане обстановок области. На диаграмме Б. Розера и Р. Корша наблюдается примерно такая же картина, а на диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина точки состава песчаников рифея и венда Учуро-Майского региона присутствуют в тех же полях, что и псаммиты двух других, рассматриваемых в настоящей работе объектов.

Сравнение особенностей распределения точек состава песчаников Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона, принадлежащих по общегеологическим данным к разным палеогеодинамическим ассоциациям, показало, что на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами какого-либо принципиального различия между ними не наблюдается. На диаграмме Б. Розера и Р. Корша к полю активных континентальных окраин (т.е. в общем случае это поле более активных в тектоническом плане обстановок) в первом случае тяготеют точки синколлизионных псаммитов, а во втором – точки песчаников рифтогенной природы. Соответственно, в поле пассивных континентальных окраин на указанном графике сконцентрированы псаммиты рифтогенных и эпикратонных ассоциаций Башкирского мегантиклинория и песчаники синколлизионной и эпикратонной природы Учуро-Майского региона. Диаграмма С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина вообще не позволяет как-то разграничить исследуемые нами объекты – на ней области псаммитов и рифтогенной, и эпикратонной, и коллизионной природы распределены как в поле рифтогенных, так и в поле коллизионных образований.

Распределение точек псаммитов верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена на диаграм-

ме **Th–La–Sc** примерно соответствует их положению на диаграмме Б. Розера и Р. Корша (к полю составов минимально активных тектонических обстановок на обеих диаграммах тяготеют песчаники эпикратонных и рифтогенных ассоциаций, к полю составов умеренно активных обстановок – породы орогенных/коллизионных ассоциаций), т.е. информация о возможной палеогеодинамической природе песчаниковых ассоциаций данной структуры, полученная на основе гео- и литохимических данных, в целом непротиворечива. В то же время для песчаников Учуро-Майского региона ситуация несколько иная. На диаграмме **Th–La–Sc** в поле составов минимально активных тектонических обстановок сконцентрированы точки псаммитов орогенных ассоциаций, а точки песчаников эпикратонных и рифтогенных ассоциаций присутствуют как в этом поле, так и в поле составов, формирующихся в условиях умеренно активной тектоники. На диаграмме Б. Розера и Р. Корша эпикратонные и орогенные ассоциации псаммитов Учуро-Майского региона тяготеют к полю составов песчаников, накопившихся в обстановках минимально активной тектоники, а рифтогенные песчаники занимают поле образований, сформированных под влиянием умеренно активной тектоники.

С чем связаны указанные различия, сказать пока трудно. Возможно, это обусловлено различиями в составе размывавшихся субстратов, возможно, определенное влияние оказывал климат на палеоводосборах. Важно подчеркнуть, что только литохимическая информация о составе терригенных образований, как следует из приведенных материалов, не дает оснований для уверенного суждения о палеогеодинамических обстановках их формирования.

Авторы искренне признательны М.В. Ишерской за предоставление образцов песчаников верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена. Все иллюстрации к статье выполнены Н.С. Глушковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Е.М., Баранов В.В., Кавеев И.Х., Солонцов Л.Ф. (1984) Новые данные по верхнему докембрию востока Русской плиты. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (7), 144-148.
2. Аксенов Е.М., Солонцов Л.Ф. (1986) Рифей и венд востока Русской плиты. *Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 117-127.
3. Беккер Ю.Р. (1965) Основные типы формаций Уральской складчатой области. *Сов. геол.*, (12), 52-68.
4. Беккер Ю.Р. (1976) Историко-геологические комплексы докембрия Уральской складчатой области. *Магматизм, метаморфизм, металлогения западно-го склона Урала*. Уфа: БФАН СССР, 14-22.

5. Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.
6. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. (2001) Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК "Звезда", 108 с.
7. Гареев Э.З. (1989) Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея. Автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук. М.: ГЕОХИ, 24 с.
8. Гареев Э.З. (1997) Петрохимические и геохимические особенности и эволюция состава осадочных пород стратотипического разреза рифея на Южном Урале. *Рифей Северной Евразии. Геология. Общие проблемы стратиграфии*. Екатеринбург: УрО РАН, 171-182.
9. Гареев Э.З. (1998) Петрохимия и эволюция составов терригенных пород как отображение процессов осадконакопления на примере стратотипа ашинской серии венда на Южном Урале. *Палеогеография венда-раннего палеозоя Северной Евразии*. Екатеринбург: УрО РАН, 56-63.
10. Гареев Э.З., Маслов А.В., Крупенин М.Т. (1999) К реконструкции основных параметров осадконакопления в рифее в области сочленения Русской платформы и Южного Урала. *Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифея и венда восточной части Восточно-Европейской платформы. Мат-лы Всерос. совещ.* Уфа: ИГ УНЦ РАН, 19-20.
11. Гареев Э.З., Маслов А.В. (1999) Петрохимические особенности позднекембрийских осадочных ассоциаций Башкирского мегантиклинория. *Литология и полез. ископаемые*, (1), 78-91.
12. Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. (2005) Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (юго-восточное Беломорье). *Литология и полез. ископаемые*, (3), 267-280.
13. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. (1990) Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 328 с.
14. Иванов С.Н. (1977) О байкалидах Урала. *Докл. АН СССР*, **237**(5), 1144-1147.
15. Иванов С.Н. (1978) Метаморфизм разрыва плит. *Докл. АН СССР*, **238**(4), 908-911.
16. Иванов С.Н. (1981) О байкалидах Урала и Сибири. *Геотектоника*, (5), 47-63.
17. Иванова Т.В., Андреев Ю.В., Масагутов Р.Х., Лозин Е.В. (1993) К истории тектонического развития востока Русской плиты на рифейском этапе. *Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 85-94.
18. Келлер Б.М. (1970) О формациях рифея (Енисейский краж, Южный Урал). *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (7), 99-107.
19. Котова Л.Н., Подковыров В.Н. (2001) Петрохимия песчаников сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион). *Литология и полез. ископаемые*, (2), 142-154.
20. Курбацкая Ф.А. (1985) Формации и палеотектоника Уральской окраины Восточно-Европейской платформы в позднем докембрии. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 38 с.
21. Курбацкая Ф.А. (1986) О строении и развитии зоны сочленения Западного Урала и Восточно-Европейской платформы в позднем докембрии. *Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 50-59.
22. Лозин Е.В. (1994) Тектоника и нефтеносность платформенного Башкортостана. Ч. I. М.: ВНИИОЭНГ, 73 с.
23. Макушин А.А., Козлов В.И., Анфимов Л.В. (1984) Проблемы металлогении рифея Башкирского Урала. *Геология зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 96-108.
24. Масагутов Р.Х. (2002) Литолого-стратиграфическая характеристика и палеогеография позднего докембрия Башкирского Приуралья. М.: Недра, 224 с.
25. Маслов А.В. (2012) Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 248 с.
26. Маслов А.В., Гареев Э.З. (1992) Основные петрохимические особенности и условия образования аркозовых комплексов рифея и венда Южного Урала. *Литология и полез. ископаемые*, (3), 50-60.
27. Маслов А.В., Гареев Э.З. (1994) Основные черты петрохимической эволюции песчаников стратотипического разреза рифея на Южном Урале. *Литология и полез. ископаемые*, (4), 119-127.
28. Маслов А.В., Гареев Э.З. (1996) Петрографо-петрохимические аспекты формирования нижнерифейских песчаниковых ассоциаций Южного Урала. *Геохимия*, (3), 278-288.
29. Маслов А.В., Гареев Э.З., Ишерская М.В. (2012б) "Стандартные" дискриминантные палеогеодинамические диаграммы и платформенные песчаниковые ассоциации. *Отечественная геология*, (3), 55-65.
30. Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н. (2010) Песчаники верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория. *Литология и полез. ископаемые*, (3), 320-338.
31. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. (2003) Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала). *Литология и полез. ископаемые*, (5), 427-446.
32. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. (2001) Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 351 с.
33. Маслов А.В., Мизенс Г.А. (2012) Песчаники молассовых последовательностей: некоторые литохимические особенности и геодинамика. *Литосфера*, (1), 14-28.
34. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Сокур Т.М. (2013а) Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии. *Литология и полез. ископаемые*, (1), 70-96.
35. Маслов А.В. и Подковыров В.Н. (2013) Верхневендская нескладчатая моласса северо-восточной, восточной и юго-западной периферии Восточно-Европейской платформы: основные черты литогеохимии. *Геохимия*, **51**(1), 50-71.
36. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З. (2012а) К оценке палеогеодинамических обстановок форми-

- рования осадочных последовательностей нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и Башкирского мегантиклинория. *Тихоокеан. геология*, **31**(5), 55-68.
37. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Федоров Ю.Н., Гареев Э.З. (2013б) Некоторые литогеохимические особенности тонкозернистых обломочных пород складчатой и нескладчатой молассы венда (западная мегазона Южного и Среднего Урала, восток и северо-восток Русской платформы). *Литосфера*, (1), 17-35.
 38. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Мизенс Г.А., Ножкин А.Д., Фазлиахметов А.М., Малиновский А.И., Худолей А.К., Котова Л.Н., Купцова А.В., Гареев Э.З., Зайнуллин Р.И. (2016) Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления. *Геохимия*, (7), 579-595.
 39. Маргулис Л.С., Ковнир Б.Д., Сереженков С.В., Нафиков И.Ф. (2015) Строеие юго-восточного перикратонного погружения Сибирской платформы. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, **10**(1), http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf
 40. Милановский Е.Е. (1988) Основные черты тектонического районирования СССР и сопредельных территорий. *Актуальные проблемы тектоники СССР*. М.: Наука, 14-23.
 41. Милановский Е.Е., Никишин А.М., Фурнэ А.В. (1994) Рифейская эволюция Восточно-Европейского кратона. *Докл. АН*, **339**(4), 513-517.
 42. Моссаковский А.А., Пушаровский Ю.М., Руженцев С.В. (1996) Пространственно-временные соотношения структур Тихоокеанского и Индо-Атлантического типов в позднем докембрии и венде. *Докл. АН*, **350**(6), 799-802.
 43. Нечухин В.М. (1990) Эволюция эндогенного оруденения Урала в процессе формирования земной коры. Автореф. ... дис. докт. геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 54 с.
 44. Парначев В.П. (1982а) Вулканизм как индикатор тектонического режима в позднем докембрии (на примере восточной окраины Русской платформы и смежной части Южного Урала). *Глобальные палеовулканологические реконструкции и тектоника*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 31-39.
 45. Парначев В.П. (1982б) О формационной принадлежности вулканогенно-осадочных комплексов рифея Башкирского поднятия. *Докембрий в фанерозойских складчатых поясах*. Л.: Наука, 96-106.
 46. Парначев В.П. (1988) Магматизм и осадконакопление в позднедокембрийской истории Южного Урала. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 33 с.
 47. Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. (1986) Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 104 с.
 48. Петтиджон Ф. Дж., Поттер П., Сивер Р. (1976) Пески и песчаники. М.: Мир, 534 с.
 49. Подковыров В.Н. (2001) Осадочные последовательности рифея и венда стратогитических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемостратиграфия, геодинамические обстановки формирования). Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 37 с.
 50. Подковыров В.Н., Котова Л.Н. (2002) Химический состав осадков и геодинамика платформенных бассейнов рифея и венда Северной Евразии. *Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков*. М.: Связь-принт, 197-199.
 51. Подковыров В.Н., Котова Л.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Граунов О.В., Загорная Н.Ю. (2007) Области сноса и источники рифейских песчаников Учуро-Майского региона (Восточная Сибирь): результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **15**(1), 47-62.
 52. Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
 53. Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 280 с.
 54. Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Хане К. (1995) Количественные закономерности эволюции состава алевропесчаных пород Русской плиты. *Геохимия*, (3), 323-348.
 55. Семихатов М.А. (2008) Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия. *БМОИП. Отд. геол.*, **83**(5), 36-58.
 56. Семихатов М.А., Серебряков С.Н. (1983) Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука, 224 с.
 57. Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибилова Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карсаков Л.П., Киселев В.В., Козлов В.И., Лобач-Жученко С.Б., Негруца В.З., Робонен В.И., Сзьюко А.И., Филатова Л.И., Хоментовский В.В., Шемякин В.М., Шульдинер В.И. (1991) Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (8), 3-14.
 58. Смирнов Ю.Д. (1964) История развития Уральской складчатой области в докембрии. *Геология докембрия. Докл. сов. геологов. МГК XXII сессия*. М.: Недра, 195-207.
 59. Соболев И.Д., Автонеев С.В., Белковская Р.П., Петрова Т.Ю., Сюткина Р.А. (1986) Тектоническая карта Урала масштаба 1:1 000 000 (объяснительная записка). Свердловск: ПГО "Уралгеология", 168 с.
 60. Солонцов Л.Ф., Аксенов Е.М., Игнатъев С.В., Кузнецов О.Б. (1979) О формационных рядах протерозоя Восточно-Европейской платформы. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (8), 12-26.
 61. Сочава А.В. (1996) Петрохимия вендских терригенных отложений Русской платформы и ее складчатого обрамления. *Палеогеография венда-раннего палеозоя (ПВРП-96)*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 146-149.
 62. Сочава А.В., Подковыров В.Н., Фелицын С.Б. (1994) Позднедокембрийский этап эволюции состава терригенных пород. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **2**(4), 3-21.
 63. Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области (2000) (Отв. ред. Е.М. Аксенов, В.И. Козлов). Объяснительная записка. Уфа: ИГ УНЦ РАН; ЦНИИГеолнеруд; БашНИ-ПИНефть, 81 с.
 64. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. (Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б., Ефимов А.О., Карлова Г.А., Кили-

- на Л.И., Константинова Л.Н., Кочнев Б.Б., Краевский Б.Г., Мельников П.Н., Наговицин К.Е., Постников А.А., Рябкова Л.В., Терлеев А.А., Хабаров Е.М). (2005) Новосибирск: "Гео", 428 с.
65. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
66. Сурков В.С., Коробейников В.П., Гришин М.П. (1993) Развитие нефтегазоносных бассейнов Сибири в неогее. *Отечественная геология*, (6), 39-45.
67. Сухоруков В.И. (1986) Опорные разрезы верхнего рифея хребта Улахан-Бам. *Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири*. Новосибирск: СибНИИГ-ГиМС, 23-64.
68. Шатский Н.С. (1960) Принципы стратиграфии позднего докембрия и объем рифейской группы. *Стратиграфия позднего докембрия и кембрия*. М.: Изд-во АН СССР, 5-15.
69. Шванов В.Н. (1987) Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 269 с.
70. Шутов В.Д. (1975) Минеральные парагенезы граувачковых комплексов. М.: Наука, 112 с.
71. Ялышева А.И., Маслов А.В. (2013) Песчаники верхнего докембрия Волго-Уральской области: минералого-петрографические и литогеохимические особенности, условия формирования. *Литология и полез. ископаемые*, (4), 383-412.
72. Япаскург О.В. (2008) Литология. М.: Издат. центр "Академия", 336 с.
73. Bhatia M.R. (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, **91**, 611-627.
74. Bhatia M.R., Crook K.A.W. (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 181-193.
75. Cullers R.L., Podkovyrov V.N. (2002) The Source and Origin of Terrigenous Sedimentary Rocks in the Mesoproterozoic U1 Group, Southeastern Russia. *Prec. Res.*, **117**, 157-184.
76. Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments. (2003) (Ed. D.R. Lentz). GeoText 4. Geol. Ass. Canada, 184 p.
77. Ingersoll R.V. (1988) Tectonics of sedimentary basins. *GSA Bull.*, **100**, 1704-1719.
78. Ingersoll R.V. (1990) Actualistic sandstone petrofacies: Discriminating modern and ancient source rocks. *Geology*, **18**, 733-736.
79. Johnsson M.J. (1993) The system controlling the composition of clastic sediments. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. (Eds. M.J. Johnsson, A. Basu). Geol. Soc. Am. Spec. Paper. **284**, 1-19.
80. Khudoley A.K., Guriev G.A. (2003) Influence of syn-sedimentary faults on orogenic structure: examples from the Neoproterozoic-Mesozoic east Siberian passive margin. *Tectonophysics*, **365**(1-4), 23-43.
81. Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Heaman L.M., Zanin A.M., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I. (2001) Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia. *Prec. Res.*, **111**, 129-163.
82. Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. (1982) Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.*, (10), 551-561.
83. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.*, (284), 21-40.
84. Podkovyrov V.N., Cullers R.L., Kovach V.P. (2007) The provenance and weathering conditions of Riphean (Mesoproterozoic and Neoproterozoic) shales, siltstones and sandstones with time, southeastern Russia (Siberia). *Soc. Sed. Geol. Spec. Publ.* (Eds. P.K. Link, R.S. Lewis), **86**, 227-25.
85. Rollinson H.R. (1994) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: London Group UK Ltd., 352 p.
86. Roser B.D., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.*, **94**, 635-650.
87. Roser B.P., Korsch R.J. (1988). Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
88. Ryan K.M., Williams D.M. (2007) Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins. *Chem. Geol.*, **242**, 103-125.
89. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2013) New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chem. Geol.*, **355**, 117-180.

Chemical composition of sandstones and paleogeodynamic reconstructions

A. V. Maslov*, V. N. Podkovyrov**, E. Z. Gareev, L. N. Kotova**

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

**Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS

The article analyzes the adequacy of compliance on paleogeodynamic nature of Upper Precambrian sedimentary associations – Bashkir meganticlinorium, Kama-Belaya aulacogene and Uchur-Maya region, received by geological methods and by using discriminant diagrams J. Meynard et al., B.R. Roser and R. Korsch, and S.P. Verma and J.S. Armstrong-Altrin. It is shown that among them there are notable differences.

Key words: *paleogeodynamic discriminant diagrams, sandstone, Upper Precambrian, Bashkir meganticlinorium, Kama-Belsky aulacogene, Uchur-Maya region.*

REFERENCES

1. Aksenov E.M., Baranov V.V., Kaveev I.Kh., Solontsov L.F. (1984) New data on Upper Precambrian of the east Russian plate. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. geol.*, (7), 144-148. (In Russian)
2. Aksenov E.M., Solontsov L.F. (1986) Riphean and Vendian of the east Russian plate. *Dokembriiskie vulkanogenno-osadochnye komplekсы Urala* [Precambrian volcanic-sedimentary complexes of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 117-127. (In Russian)
3. Bekker Yu.R. (1965) The main types of formations of the Ural folded area. *Sovetskaya geologiya*, (12), 52-68. (In Russian)
4. Bekker Yu.R. (1976) Historical and geological complexes of Precambrian fold Ural region. *Magmatizm, metamorfizm, metallogeniya zapadnogo sklona Urala* [Magmatism, metamorphism, metallogeny of the western slope of the Urals]. Ufa, BFAN SSSR, 14-22. (In Russian)
5. Bekker Yu.R. (1988) *Molassy dokembrii* [Precambrian molasses]. Leningrad, Nedra Publ., 288 p. (In Russian)
6. Belokon' T.V., Gorbachev V.I., Balashova M.M. (2001) *Stroenie i neftegazonosnost' rifejsko-vendskikh otlozhenii vostoka Russkoi platformy* [The structure and the oil and gas potential of Riphean-Vendian of the east Russian Platform]. Perm', IPK "Zvezda" Publ., 108 p. (In Russian)
7. Gareev E.Z. (1989) *Geokhimiya osadochnykh porod stratotipicheskogo razreza rifeya*. Avtoref. ... dis. kand. geol.-min. nauk [Geochemistry of sedimentary rocks of the Riphean stratotype section. Cand. geol. and min. sc. diss. abstr.]. Moscow, GEOKHI, 24 p.
8. Gareev E.Z. (1997) The petrochemical and geochemical features and the evolution of the composition of sedimentary rocks of the Riphean stratotype section in the southern Urals. *Rifei Severnoi Evrazii. Geologiya. Obshchie problemy stratigrafii* [Rifeys Northern Eurasia. Geology. Common problems of stratigraphy]. Ekaterinburg, UrO RAN, 171-182. (In Russian)
9. Gareev E.Z. (1998) Petrochemistry and evolution of clastic rocks compositions as a reflection of the processes of sedimentation on the example of the Asha series which is stratotype of Vendian in the Southern Urals. *Paleogeografiya venda-rannego paleozoiya Severnoi Evrazii* [Paleogeography Vendian-Early Paleozoic northern Eurasia]. Ekaterinburg, Ural Branch of RAS, 56-63. (In Russian)
10. Gareev E.Z., Maslov A.V., Krupenin M.T. (1999) For the reconstruction of the main parameters in the Riphean sedimentation in the joint Russian platform and the Southern Urals. *Stratigrafiya, paleontologiya i perspektivy neftegazonosnosti rifeya i venda vostochnoi chasti Vostochno-Evropейskoi platformy*. *Trudy Vserossiiskogo soveshchaniya* [Stratigraphy, Paleontology and oil and gas potential of Riphean and Vendian eastern part of the East European platform. Materials of the All-Russia. Conference]. Ufa, IG UNTs RAN, 19-20.
11. Gareev E.Z., Maslov A.V. (1999) Petrochemical features of Late Precambrian sedimentary associations in Bashkirian meganticlinorium. *Litol. Polezn. Iskop.*, (1), 78-91. (In Russian)
12. Grazhdankin D.V., Podkovyrov V.N., Maslov A.V. (2005) Paleoclimatic Environments of the Formation of Upper Vendian Rocks on the Belomorian-Kuloi Plateau, Southeastern White Sea Region. *Lithol. Miner. Resour.*, **40**(3), 232-244 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 267-280).
13. Zonenshain L.P., Kuz'min M.I., Natapov L.M. (1990) *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR* [Plate tectonics in the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 328 p. (In Russian)
14. Ivanov S.N. (1977) About Baikalides of the Urals. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **237**(5), 1144-1147. (In Russian)
15. Ivanov S.N. (1978) Metamorphism of plate break. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **238**(4), 908-911. (In Russian)
16. Ivanov S.N. (1981) About Baikalides of the Urals and Siberia. *Geotektonka*, (5), 47-63. (In Russian)
17. Ivanova T.V., Andreev Yu.V., Masagutov R.Kh., Lozin E.V. (1993) On the history of tectonic development of the east of Russian plate during Riphean stage. *Verkhniy dokembriy Yuzhnogo Urala i vostoka Russkoi plity* [Upper Precambrian of the Southern Urals and eastern Russian Plate]. Ufa, IG UNTs RAN, 85-94.
18. Keller B.M. (1970) On the formations of the Riphean (Yenisei Ridge, Southern Urals). *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, (7), 99-107. (In Russian)
19. Kotova L.N., Podkovyrov V.N. (2001) Petrochemistry of sandstones in Siberian Riphean hypostratotype (Uchur-Maya region). *Litol. Polezn. Iskop.*, (2), 142-154. (In Russian)
20. Kurbatskaya F.A. (1985) *Formatsii i paleotektonika Ural'skoi okrainy Vostochno-Evropейskoi platformy v pozdnem dokembrii*. Avtoref. dis. ... dokt. geol.-min.

- nauk [Formations and paleotectonics of Urals margin of the East European Platform in the Late Precambrian Dr. geol. and min. sci. diss. abstr.]. Moscow State University, 38 p. (In Russian)
21. Kurbatskaya F.A. (1986) The structure and development of the joint area of the Western Urals and East European Platform in the Late Precambrian. *Dokembriiskie vulkanogenno-osadochnye komplekсы Urala* [Precambrian volcanic-sedimentary complexes of the Urals]. Sverdlovsk, UNTs Akad. Nauk SSSR, 50-59. (In Russian)
 22. Lozin E.V. (1994) *Tektonika i neftenosnost platformenogo Bashkortostana. Ch. I* [Tectonics and oil-bearing of platform Bashkortostan. Part I]. Moscow, VNIIO-ENG, 73 p. (In Russian)
 23. Makushin A.A., Kozlov V.I., Anfimov L.V. (1984) Problems of Riphean metallogeny in Bashkirian Urals. *Geologiya zony sochleneniia Urala i Vostochno-Evropeiskoi platformy* [Geology of the junction zone of the Urals and East European Platform]. Sverdlovsk, UNTs Akad. Nauk SSSR, 96-108. (In Russian)
 24. Masagutov R.Kh. (2002) *Litologo-stratigraficheskaya harakteristika i paleogeografiya pozdnego dokembriya Bashkirskogo Priural'ya* [Lithologic and stratigraphic characteristics and palaeogeography of the Late Precambrian Bashkir Urals]. Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russian)
 25. Maslov A.V. (2012) *Litogeokhimiya terrigennykh porod verkhnego dokembriya Volgo-Ural'skoi oblasti* [Lithochemical characteristics of the Upper Precambrian of the Volga-Ural region]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 248 p. (In Russian)
 26. Maslov A.V., Gareev E.Z. (1992) Basic petrochemical features and conditions of formation Riphean and Vendian arkose complexes of the Southern Urals. *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 50-60. (In Russian)
 27. Maslov A.V., Gareev E.Z. (1994) The main features of the evolution of the petrochemical sandstones from Riphean stratotype section in the southern Urals. *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 119-127.
 28. Maslov A.V., Gareev E.Z. (1996) Origin of Lower Riphean Sandstone Associations of the Southern Urals: Major-Element and Petrographic Evidence. *Geochem. Int.*, **34**(3), 249-258 (translated from *Geokhimiya*, (3), 278-288).
 29. Maslov A.V., Gareev E.Z., Isherskaya M.V. (2012) "Standard" discriminant paleogeodynamic diagrams and platform sandstone association. *Otechestvennaya Geologiya*, (3), 55-65. (In Russian)
 30. Maslov A.V., Gareev E.Z., Podkovyrov V.N. (2010) Upper Riphean and Vendian Sandstones of the Bashkirian Anticlinorium. *Lithol. Miner. Resour.*, **45**(3), 285-301 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 320-338).
 31. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z. (2003) Lithological, Lithochemical, and Geochemical Indicators of Paleoclimate: Evidence from Riphean of the Southern Urals. *Lithol. Miner. Resour.*, **38**(5), 427-446 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (5), 427-446).
 32. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) *Rifei zapadnogo sclona Iuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamyatniki prirody)* [Riphean of the Southern Urals western slope (classic sections, sediment-genesis, litho-genesis, minerageny, geological monuments of nature)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., 351 p. (In Russian)
 33. Maslov A.V., Mizens G.A. (2012) Sandstones of molasse sequences: some litho-geochemical features and geodynamics. *Litosfera*, (1), 14-28. (In Russian)
 34. Maslov A.V., Mizens G.A., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Sorokin A.A., Smirnova Yu.N., Sokur T.M. (2013) Synorogenic Psammites: Major Lithochemical Features. *Lithol. Miner. Resour.*, **48**(1), 74-97 (translated from *Litol. Polezn. Iskop.*, (1), 70-96).
 35. Maslov A.V., Podkovyrov V.N. (2013) Late Vendian Unfolded Molasse in the Northeastern, Eastern, and Southwestern Peripheries of the East European Platform: Distinctive Lithochemical Features. *Geochem. Int.*, **51**(1), 44-64 (translated from *Geokhimiya*, **51**(1), 50-71).
 36. Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z. (2012) Evolution of the Paleogeodynamic Settings of the Formation of the Lower and Middle Riphean Sedimentary Sequences of the Uchur-Maya Region and the Bashkir Meganticlinorium. *Rus. J. Pac. Geol.*, **6**(5), 382-394 (translated from *Tikhookean. Geol.*, **31**(5), 55-68).
 37. Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Grazhdankin D.V., Fedorov Yu.N., Gareev E.Z. (2013) Some lithochemical particularly fine-grained clastic rocks in folded and non-folded Vendian molasses (western Megazone of Southern and Middle Urals, East and North-East of the Russian Platform). *Litosfera*, (1), 17-35. (In Russian)
 38. Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Mizens G.A., Nozhkin A.D., Fazliakhmetov A.M., Malinovskii A.I., Hudolei A.K., Kotova L.N., Cuptsova A.V., Gareev E.Z., Zainullin R.I. (2016) Tectonic Setting Discrimination Diagrams for Terrigenous Rocks: a Comparison. *Geochem. Int.*, **54**(7), 569-583 (translated from *Geokhimiya*, (7), 579-595).
 39. Margulis L.S., Kovnir B.D., Serezhnikov S.V., Nafikov I.F. (2015) The structure of the southeastern peritectonic depression of Siberian Platform. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, **10**(1), http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf. (In Russian)
 40. Milanovskii E.E. (1988) The main features of tectonic zoning of the USSR and adjacent territories. *Aktual'nye problemy tektoniki SSSR* [Actual problems of the tectonics of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 14-23. (In Russian)
 41. Milanovskii E.E., Nikishin A.M., Furne A.V. (1994) Riphean evolution of the East European Craton. *Dokl. Akad. Nauk*, **339**(4), 513-517. (In Russian)
 42. Mossakovskii A.A., Pushcharovskii Yu.M., Ruzhentsev S.V. (1996) Spatial and temporal structures correlation of the Pacific and Indo-Atlantic type in the Late Precambrian and Wendian. *Dokl. Akad. Nauk*, **350**(6), 799-802. (In Russian)
 43. Necheuhin V.M. (1990) *Evoliutsiya endogenno go orudneniya Urala v protsesse formirovaniya zemnoi kory. Avtoref. ... dis. dokt. geol.-min. nauk* [The evolution of endogenic mineralization of the Urals during of the Earth's crust formation. Dr geol. and miner. sci. diss. abstr.]. Sverdlovsk, IGG UrO AN SSSR, 54 p. (In Russian)
 44. Parnachev V.P. (1982) Volcanism as an indicator of tectonic regime in the Late Precambrian (cite as an example the eastern margin of the Russian platform and the adjacent part of the Southern Urals). *Global'nye paleovulkanologicheskie rekonstruktsii i tektonika* [Glo-

- bal paleo-volkanological reconstructions and tectonics]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 31-39.
45. Parnachev V.P. (1982) On the formation type volcano-genic-sedimentary complexes of Riphean in Bashkir uplift. *Dokembrii v fanerozoiskikh skladchatykh poyasakh* [Precambrian in Phanerozoic fold belts]. Leningrad, Nauka Publ., 96-106. (In Russian)
 46. Parnachev V.P. (1988) *Magmatizm i osadkonakoplenie v pozdnedokembriiskoi istorii Iuzhnogo Urala*. Avtoref. dis. ... dokt. geol.-min. nauk [Magmatism and sedimentation in the Late Precambrian history of the Southern Urals. Dr geol.-min. sci. diss. abstr.]. Sverdlovsk, IGG UrO AN SSSR, 33 p. (In Russian)
 47. Parnachev V.P., Rotar' A.F., Rotar' Z.M. (1986) *Srednerifeiskaya vulkanogenno-osadochnaya assotsiatsiya Bashkirskogo meganticlinoriya (Yuzhnyi Ural)* [Middle Riphean volcanic-sedimentary association of Bashkir meganticlinorium (Southern Urals)]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR Publ., 104 p. (In Russian)
 48. Pettijon F.Dzh., Potter P., Siver R. (1976) *Peski i peschaniiki* [Sand and sandstone]. Moscow, Mir Publ., 534 p. (In Russian)
 49. Podkovyrov V.N. (2001) *Osadochnye posledovatel'nosti rifeya i venda stratotipicheskikh regionov Sibiri i Urala (litokhimiya, khemostratigrafiya, geodinamicheskie obstanovki formirovaniya)*. Avtoref. dis. ... dokt. geol.-min. nauk [Riphean and Vendian sedimentary sequences in stratotypical regions of Siberia and the Urals (litho-chemistry, chemo-stratigraphy, geodynamic conditions of formation). Dr. geol and min sci. diss. abstr.]. St-Petersburg, IGGD RAN, 37 p. (In Russian)
 50. Podkovyrov V.N., Kotova L.N. (2002) Chemical composition of sediments and geodynamics of Riphean and Vendian platform basins in Northern Eurasia. *Geologiya, geokhimiya i geofizika na rubezhe XX i XXI vekov* [The geology, geochemistry and geophysics at the turn of XX and XXI centuries]. Moscow, Sviaz'-print, 197-199. (In Russian)
 51. Podkovyrov V.N., Kotova L.N., Kotov A.B., Kovach V.P., Graunov O.V., Zagornaya N.Yu. (2007) Areas of demolition and sources of Riphean sandstones Uchur-Maya region (Eastern Siberia): Results of geochemical and Sm-Nd isotopic studies. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **15**(1), 47-62. (In Russian)
 52. Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Iuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
 53. Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Cisuralian region (current questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russian)
 54. Ronov A.B., Migdisov A.A., Hane K. (1995) Quantitative laws of the evolution of composition silty sandstone rock on Russian plate. *Geokhimiya*, (3), 323-348. (In Russian)
 55. Semikhatov M.A. (2008) Chronostratigraphy and chronometry are the competing concepts of total dismemberment of the Precambrian. *Bul. MOIP. Otd. Geol.*, **83**(5), 36-58. (In Russian)
 56. Semikhatov M.A., Serebryakov S.N. (1983) *Sibirskii gipostatotip rifeya* [The Siberian hypostatotype of Rifean]. Moscow, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)
 57. Semikhatov M.A., Shurkin K.A., Aksenov E.M., Bekker Yu.R., Bibikova E.V., Duk B.L., Esipchuk K.E., Karsakov L.P., Kiselev V.V., Kozlov V.I., Lobach-Zhuchenko C.B., Negrutsa V.Z., Robonen V.I., Sez'ko A.I., Filatova L.I., Homentovskii V.V., Shemyakin V.M., Shul'diner V.I. (1991) New Precambrian stratigraphic scale of the USSR. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, (8), 3-14. (In Russian)
 58. Smirnov Yu.D. (1964) History of the Ural folded area in the Precambrian. *Geologiya dokembriya* [Precambrian Geology]. Doclady. sov. geologov. MGK XXII sessiia. Moscow, Nedra Publ., 195-207. (In Russian)
 59. Sobolev I.D., Avtoneev S.V., Belkovskaya R.P., Petrova T.Yu., Syutkina R.A. (1986) *Tektonicheskaya karta Urala masshtaba 1 : 1 000 000 (ob'yasnitel'naya zapiska)* [Tectonic map of the Urals, scale 1 : 1 000 000 (explanatory memorandum)]. Sverdlovsk, PGO "Uralgeologiya", 168 p. (In Russian)
 60. Solontsov L.F., Aksenov E.M., Ignat'ev S.V., Kuznetsov O.B. (1979). On the formational series Proterozoic East European platform. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, (8), 12-26. (In Russian)
 61. Sochava A.V. (1996) **Petrochemical Vendian terrigenous deposits of Russian platform and its folded frame.** *Paleogeografiya venda-rannego paleozoi (PVRP-96)* [Paleogeography Vendian–Early Paleozoic (STTD-96)]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 146-149. (In Russian)
 62. Sochava A.V., Podkovyrov V.N., Felitsyn S.B. (1994) Late Precambrian stage of the evolution of the composition of clastic rocks. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **2**(4), 3-21. (In Russian)
 63. *Stratigraficheskaya skhema rifeiskikh i vendskikh otlozhenii` Volgo-Ural'skoi` oblasti (2000)* Ob'yasnitel'naya zapiska. (Otv. red. E.M. Aksenov, V.I. Kozlov) [Stratigraphic scheme of Riphean and Vendian deposits of the Volga-Ural region Explanatory note. (Ed. E.M. Aksenov, V.I. Kozlov)]. Ufa, IG UNTs RAN; TsNIIGeolnerud; BashNIPINeft', 81 p. (In Russian)
 64. *Stratografiya neftegazonosnykh basseinov Sibiri. Rifei i vend Sibirskoi platformy i ee skladchatogo obramleniia.* (Mel'nikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., Efimov A.O., Karlova G.A., Kilina L.I., Konstantinova L.N., Kochnev B.B., Kraevskii B.G., Mel'nikov P.N., Nagovitsin K.E., Postnikov A.A., Ryabkova L.V., Terleev A.A., Habarov E.M) (2005) [Stratigraphy of the oil and gas basins of Siberia. Riphean and Vendian of the Siberian Platform and its folded frame. (Mel'nikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., Efimov A.O., Karlova G.A., Kilina L.I., Konstantinova L.N., Kochnev B.B., Kraevskii B.G., Mel'nikov P.N., Nagovitsin K.E., Postnikov A.A., Ryabkova L.V., Terleev A.A., Habarov E.M). Novosibirsk, Geo Publ., 428 p. (In Russian)
 65. *Stratotype rifeya. Stratografiya. Geokhronologiya.* (1983) (Otv. red. B.M. Keller, N.M. Chumakov) [Riphean stratotype Stratigraphy. Geochronology. (Ed. B.M. Keller, N.M. Chumakov)]. Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
 66. Surkov V.S., Korobeinikov V.P., Grishin M.P. (1993) Development of oil and gas basins of Siberia in the Neogene. *Otechestvennaia geologiya*, (6), 39-45. (In Russian)
 67. Sukhorukov V.I. (1986) Reference sections of the Upper Riphean Ridge Ulakhan-Bam. *Pozdnie dokembrii i rannii paleozoi Sibiri* [Late Precambrian and Early Pa-

- leozoic of Siberia]. Novosibirsk, SibNIIGGiMS, 23-64. (In Russian)
68. Shatskii' N.S. (1960) Principles of stratigraphy of the Late Precambrian and volume Riphean group. *Stratigrafiya pozdnego dokembriia i kembriia* [Stratigraphy of the Late Precambrian and Cambrian]. Moscow, Akad. Nauk SSSR, 5-15. (In Russian)
 69. Shvanov V.N. (1987) *Petrografiya peschanykh porod (komponenty i sostav, sistematika i opisaniye mineral'nykh vidov)* [Petrography sandy rocks (the component structure, taxonomy and description of mineral species)]. Leningrad, Nedra Publ., 269 p. (In Russian)
 70. Shutov V.D. (1975) *Mineral'nye paragenezы grauvalkovykh kompleksov* [Mineral parageneses greywacke complexes]. Moscow, Nauka Publ., 112 p. (In Russian)
 71. Ialy'sheva A.I., Maslov A.V. (2013) Pre-Cambrian sandstones of the upper Volga-Ural region: the mineralogical and petrographic and lithochemical particular conditions of formation. *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 383-412.
 72. Yapaskurt O.V. (2008) *Litologiya* [Lithology]. Moscow, Izdat. Tsentr "Akademiya", 336 p. (In Russian)
 73. Bhatia M.R. (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, **91**, 611-627.
 74. Bhatia M.R., Crook K.A.W. (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 181-193.
 75. Cullers R.L., Podkovyrov V.N. (2002) The Source and Origin of Terrigenous Sedimentary Rocks in the Mesoproterozoic Uj Group, Southeastern Russia. *Prec. Res.*, **117**, 157-184.
 76. Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments. (2003) (Ed. D.R. Lentz). GeoText 4. Geol. Ass. Canada., 184 p.
 77. Ingersoll R.V. (1988) Tectonics of sedimentary basins. *GSA Bull.*, **100**, 1704-1719.
 78. Ingersoll R.V. (1990) Actualistic sandstone petrofacies: Discriminating modern and ancient source rocks. *Geology*, **18**, 733-736.
 79. Johnsson M.J. (1993) The system controlling the composition of clastic sediments. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. (Eds. M.J. Johnsson, A. Basu). *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, **284**, 1-19.
 80. Khudoley A.K., Guriev G.A. (2003) Influence of syn-sedimentary faults on orogenic structure: examples from the Neoproterozoic-Mesozoic east Siberian passive margin. *Tectonophysics*, **365**(1-4), 23-43.
 81. Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Heaman L.M., Zanin A.M., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I. (2001) Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia. *Prec. Res.*, **111**, 129-163.
 82. Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. (1982) Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Publs.*, (10), 551-561.
 83. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Publs.*, (284), 21-40.
 84. Podkovyrov V.N., Cullers R.L., Kovach V.P. (2007) The provenance and weathering conditions of Riphean (Mesoproterozoic and Neoproterozoic) shales, siltstones and sandstones with time, southeastern Russia (Siberia). *Soc. Sed. Geol. Spec. Publs.* (Eds. P.K. Link, R.S. Lewis). **86**, 227-25.
 85. Rollinson H.R. (1994) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: London Group UK Ltd., 352 p.
 86. Roser B.D., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.*, **94**, 635-650.
 87. Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
 88. Ryan K.M., Williams D.M. (2007) Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins. *Chem. Geol.*, **242**, 103-125.
 89. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2013) New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chem. Geol.*, **355**, 117-180.