

ПОЛОЖЕНИЕ ПОРОД, СЛАГАЮЩИХ РИФТОГЕННЫЕ И КОЛЛИЗИОННЫЕ ОСАДОЧНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, НА РАЗЛИЧНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ

© 2021 г. А. В. Маслов^{a, b, *}, В. Н. Подковыров^{c, **}

^aИнститут геологии и геохимии им. Акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН,
ул. Акад. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620016 Россия

^bГеологический институт РАН, Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

^cИнститут геологии и геохронологии докембрия РАН,
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034 Россия

*e-mail: amas2004@mail.ru

**e-mail: vpodk@mail.ru

Поступила в редакцию 20.02.2019 г.

После доработки 25.02.2020 г.

Принята к публикации 27.02.2020 г.

В статье представлены результаты сравнения особенностей распределения на диаграммах $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$, F1–F2 и DF1–DF2 полей состава синрифтовых и синколлизийных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных структур и различного возраста. К синрифтовым осадочным последовательностям отнесены те, что выполняют внутриплитные рифты, рифты на дивергентных, консервативных и конвергентных границах плит, а также тройные их сочленения. Под синколлизийными образованиями понимаются породы предгорных и межгорных прогибов, выполненных как собственно молассовыми образованиями, флишем и шлиром, так и вулканогенной и нескладчатой (удаленной) молассой. Установлено, что распределение полей синрифтовых и синколлизийных песчаников на диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ показывает отсутствие принципиальной разницы между ними. Это же можно сказать и исходя из локализации их полей на диаграммах F1–F2 и DF1–DF2. Распределение полей синрифтовых и синколлизийных тонкозернистых обломочных/глинистых пород на перечисленных дискриминантных палеогеодинамических диаграммах также в существенной мере сходно. Это дает возможность считать, что перечисленные диаграммы не позволяют с существенной долей уверенности разграничивать синрифтовые и синколлизийные терригенные ассоциации. Соответственно полученные с их помощью выводы нельзя рассматривать как один из основных или единственный аргумент в пользу каких-либо однозначных суждений о геодинамической природе осадочных образований.

Ключевые слова: песчаники, глинистые породы, рифтогенные и коллизийные осадочные последовательности, дискриминантные палеогеодинамические диаграммы

DOI: 10.31857/S0016752521020059

ВВЕДЕНИЕ

Ранее нами уже было проанализировано положение полей синколлизийных (Маслов и др., 2013, 2015б), а также синрифтовых (Маслов и др., 2019) песчаников и глинистых пород на различных дискриминантных диаграммах, широко применяемых в настоящее время для установления палеогеодинамических обстановок формирования осадочных последовательностей разного возраста. К числу таких диаграмм относятся разработанные в начале 1980-х гг. и несколько позднее диаграммы $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Maynard et al.,

1982), $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$, $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ и им подобные (Bhatia, 1983), $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ (Roser, Korsch, 1986), F1–F2 (Bhatia, Crook, 1986), $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})\text{--SiO}_2/20\text{--}(\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ (Kroonenberg, 1994) и ряд других. Все они, как полагают многие, если не большинство авторов, дают возможность с той или иной “долей/процентами соответствия” отнести терригенные породы к образованиям нескольких палеогеодинамических обстановок: пассивных и активных континентальных окраин

¹ Fe_2O_3^* – суммарное железо в виде Fe_2O_3 .

(ПКО и АКО), океанических и континентальных вулканических дуг (ООД и КВД). Мы уже отмечали (Маслов и др., 2016 и др.), что в последующие годы не было предложено ни одной другой дискриминантной диаграммы для осадочных образований, а количество критических отзывов о диаграммах 1980—начала 1990-х гг. постепенно росло (Armstrong-Altrin, Verma, 2005; Ryan, Williams, 2007; Caracciolo et al., 2012 и др.).

В 2013 г. увидели свет новые дискриминантные диаграммы DF1–DF2 (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) для терригенных пород с высоким (63–95 мас. %) и низким (35–63 мас. %) содержанием $(\text{SiO}_2)_{\text{adj}}$ ², их можно назвать соответственно “высоко-” и “низкокремнистая” диаграммы, на которых впервые выделена область составов, свойственных рифтогенным обстановкам. По данным предложивших эти диаграммы авторов, в случае “высококремнистой” диаграммы “проценты соответствия” для образцов из островодужных, рифтогенных и коллизионных обстановок варьируют в пределах 94–96, 79–85 и 83–88%. Для “низкокремнистой” диаграммы для тех же обстановок “проценты соответствия” равны ~90, 75–92 и 96–100%. В то же время вне внимания авторов остался состав комплексов пород-источников алюмосиликокластики, хотя очевидно, что осадочное выполнение рифтов, питающихся продуктами размыва разнообразных магматических пород, должно отличаться по валовому химическому составу от состава синрифтовых образований, сформированных за счет многократно рециклированных осадочных толщ.

Сопоставление дискриминантных палеогеодинамических диаграмм первого (середина 1980—начало 1990-х гг.) и второго (начало 2010-х гг.) поколений (Маслов и др., 2016) с использованием данных о валовом химическом составе терригенных пород разного возраста показало, что все диаграммы позволяют с определенной (и не всегда большой) долей условности разграничить породные ассоциации платформенных, рифтогенных, островодужных обстановок и пассивных континентальных окраин. Фигуративные точки составов пород коллизионных осадочных ассоциаций самостоятельные поля на них не образуют.

В настоящей работе приведены результаты сравнения особенностей распределения на диаграммах $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (Roser, Korsch, 1986), F1–F2³ (Bha-

tia, Crook, 1986) и DF1–DF2⁴ (Verma, Armstrong-Altrin, 2013), полей состава синрифтовых и синколлизионных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных структур и различного возраста. Синрифтовые осадочные последовательности выполняют внутриплитные рифты, рифты на дивергентных, консервативных и конвергентных границах плит, а также тройные их сочленения (Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001 и др.). При этом рифты на дивергентных границах плит включают структуры, заложившиеся как в результате сводообразования, так и не связанные с ним. Рифты на консервативных границах плит объединяют структуры, сформированные в трансенсивных обстановках, пул-апарт бассейны и клинораздвиги. Рифты на конвергентных границах ассоциируют с зонами субдукции или с зонами континентальной коллизии. Первые включают рифты, связанные с вулканическими дугами. Вторые объединяют импактогены, структуры, образованные в интраконтинентальных поясах столкновения, и зоны деформаций, напоминающие поверхность паковых льдов. Под синколлизионными/синорогенными терригенными образованиями мы понимаем породы предгорных и межгорных прогибов, выполненных как собственно молассовыми образованиями, флишем и шпиром, так и вулканогенной и нескладчатой (удаленной) молассой (Маслов и др., 2013).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели нами использованы сведения о валовом химическом со-

⁴ Для терригенных пород с высоким (63–95 мас. %) содержанием $(\text{SiO}_2)_{\text{adj}}$ параметры DF1 и DF2 рассчитываются по формулам: $\text{DF1} = -0.263\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.604\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.725\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.660\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 2.191\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.144\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.304\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.054\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.330\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.588$, $\text{DF2} = -1.196\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.064\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.303\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.436\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.838\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.407\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.021\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.706\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.126\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.068$. Для терригенных пород с низким (35–63 мас. %) содержанием $(\text{SiO}_2)_{\text{adj}}$ значения DF1 и DF2 рассчитываются по формулам: $\text{DF1} = 0.608\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.854\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.299 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.550\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.120 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.194\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.510 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.941\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.003 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.294$, а $\text{DF2} = -0.554\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.995\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.765\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.391 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.034\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.225 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.713\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.330 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.637\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 3.631$.

² $(\text{SiO}_2)_{\text{adj}}$ представляет содержание SiO_2 , полученное после пересчета основных породообразующих оксидов на безводную основу.

³ $\text{F1} = 30.638\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$; $\text{F2} = 56.500\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$.

ставе (основные порообразующие элементы) песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород, выполняющих 36 рифтогенных структур и слагающих 30 осадочных последовательностей, сформированных на коллизионном этапе.

К числу рассматриваемых в данной статье осадочных образований, выполняющих *рифтогенные структуры*⁵, принадлежат (рис. 1а): 1) песчаники и глинистые породы⁶ машакской свиты среднего рифея (юрматиния) западного склона Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий), Россия (Парначев и др., 1986 и др.); 2) метатерригенные породы аршинской серии верхнего протерозоя западного склона Южного Урала, Россия (Маслов и др., 2018); 3) песчаники и глинистые породы уйской серии верхнего рифея Учуро-Майского региона, юго-восточная Сибирь, Россия (Подковыров, 2001; Подковыров и др., 2002; Khudoley et al., 2001; Cullers, Podkovyrov, 2002); 4) песчаники и глинистые породы неопротерозойской чингасанской серии Енисейского кряжа, Россия (Ножкин и др., 2007, 2008; Лиханов, Ревердатто, 2015); 5) песчаники и глинистые породы мезопротерозойской надсерии Белт-Перселл (Belt-Pursell Supergroup), США (González-Álvarez, 2005); 6) песчаники и глинистые породы неопротерозойской серии Юинта Маунтин (Uinta Mountain Group), США (Condie et al., 2001); 7) песчаники и глинистые породы нижней части надсерии Виндхья/серии Семри (Vindhyan Supergroup/Semri Group), мезопротерозой/нижний рифей, Индия (Raza et al., 2002, 2010; Paikaray et al., 2008); 8) песчаники и глинистые породы палеопротерозойской формации Серпент (Serpent Formation) надсерии Гурон, Канада (Fedо et al., 1997); 9) песчаники и глинистые породы неогенового бассейна Йиянг (Jiyang Basin), Северный Китай (Cai et al., 2008, 2011); 10) песчаники меловой формации Омдурман (Omdurman Formation), Хартумский бассейн, Центральный Судан (Elzien et al., 2014); 11) силикокластические позднеплейстоценовые и голоценовые образования рифтового бассейна Окаванго (Okavango rift basin), Восточно-Африканская рифтовая зона, Ботсвана (Huntsman-Mapila et al., 2005); 12) песчаники пермской формации Малузина (Malužiná Formation), Словакия (Vdačný et al., 2013); 13) песчаники нижнемиоценовой формации Нухул (Nukhul Formation), рифт Суэцкого залива, Египет (Zaid, 2013); 14) песчаники мезо-неопротерозойской се-

рии Банкси (Banxi Group), блок Янцзы, Китай (DeRu et al., 2007); 15) песчаники и глинистые породы неопротерозойской формации Гамбл Брук (Gamble Brook Formation), Авалонский террейн, Канада (Murphy, 2002); 16) глинистые породы перми и триаса бассейна Сатпура (Satpura Basin), Индия (Ghosh, Sarkar, 2010); 17) псаммиты верхнемеловой формации Силлаккуди (Sillakkudi Formation), бассейн Кавери (Cauvery Basin), Индия (Bakkiaraj et al., 2010); 18) песчаники и глинистые породы мелового бассейна Доуала (Douala Basin) Юго-Восточного Камеруна (Ngueutchoua et al., 2017); 19) песчаники и глинистые породы неопротерозойской серии Верхний Оранжемунд (Upper Oranjemund Group), Намибия, Южная Африка (Basei et al., 2005); 20) песчаники и глинистые породы формации Нанмингшу (Nanmingshui Formation), нижний карбон Джунгара (Junggar), Китай (Tao et al., 2014); 21) песчаники формаций Мотур (Motur), Пачмархи (Pachmarhi), Денва (Denwa), Талчир (Talchir), Баракар (Barakar) и Биджори (Bijori), пермь–триас, бассейн Сатпура (Satpura Basin), Центральная Индия (Ghosh et al., 2012); 22) глинистые породы ордовикской (тремадок) формации Тину (Tinu Formation), Южная Мексика (Murphy et al., 2005); 23) песчаники и глинистые породы айской свиты нижнего рифея (бурзания) Южного Урала, Россия (Маслов и др., 2013, 2019 и др.); 24) песчаники и глинистые породы прикамской свиты нижнего рифея (бурзания), Волго-Уральская область, Россия (Маслов, Ишерская, 1998); 25) глинистые породы серий Асу Ривер и Кросс Ривер (Asu River и Cross River groups), Нижний трог Бенуэ, Нигерия (Adeigbe, Jimoh, 2013); 26) глинистые породы формаций Бир Магхара и Сафа (Bir Maghara и Safa formations), байос-бат, Северный Синай, Египет (Ghandour et al., 2003); 27) глинистые породы бассейна Конго (Congo Basin), нижний мел, Западная Африка (Harris, 2000); 28) глинистые породы основания разреза Японского моря, нижний миоцен, Япония (Ishiga et al., 1999); 29) глинистые породы бассейна Олите (Oliete Basin), альб, Испания (Lopez et al., 2005); 30) глинистые породы бассейна Кришна-Годавари (Krishna-Godavari Basin), плиоцен(?)–плейстоцен, Бенгальский залив, Индия (Mazumdar et al., 2015); 31) глинистые породы верхнего триаса–нижней юры, горы Пелоритани (Peloritani Mountains), Сицилия, Италия (Perrì et al., 2011); 32) глинистые породы Фракийского бассейна (Thrace Basin), эоцен–олигоцен, Греция (Perrì et al., 2015); 33) глинистые породы среднего триаса–верхней юры Внутренних Доменов (Internal Domains) запада Центральной части Средиземноморья (Perrì, Ohta, 2014); 34) глинистые породы формации Тадкешвар (Tadkeshwar Formation), нижний эоцен, бассейн Камбей (Cambay Basin), Индия (Pundaree et al., 2015); 35) глинистые породы Рифского сектора

⁵ Мы не ставили перед собой задачу верификации авторских представлений о природе той или иной осадочной последовательности из приведенного списка, считая, что такой вопрос рассмотрен в цитируемых в данном абзаце работах. В то же время мы отдаем себе отчет в том, что могут быть и иные точки зрения.

⁶ Анализы валового химического состава песчаников и глинистых пород различных рифтогенных структур приведены в (Маслов и др., 2019 и др.).

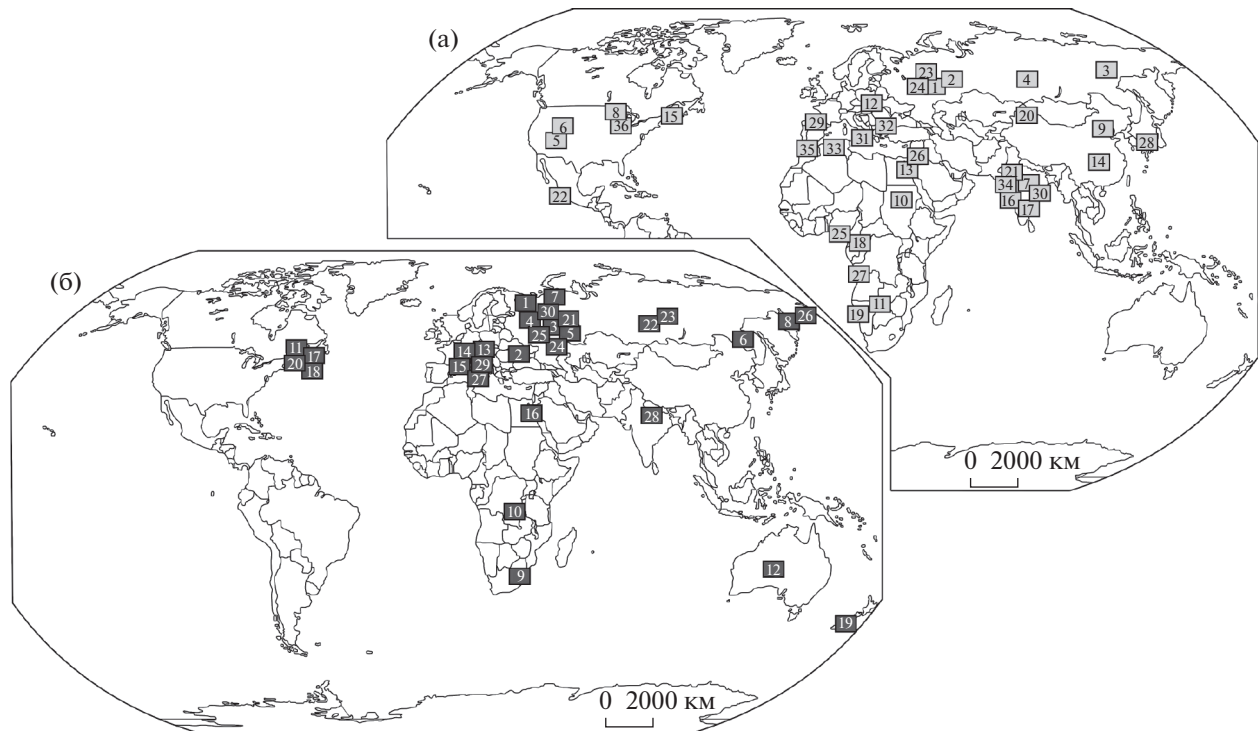


Рис. 1. Положение рассматриваемых в работе рифтогенных (а) и коллизионных (б) объектов, географическая основа по (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) с некоторыми изменениями. (а): 1 – песчаники и глинистые породы машакской свиты; 2 – метатерригенные породы аршинской серии; 3 – песчаники и глинистые породы уйской серии; 4 – песчаники и глинистые породы чингасанской серии; 5 – песчаники и глинистые породы надсерии Белт-Перселл; 6 – песчаники и глинистые породы серии Юинта Маунтин; 7 – песчаники и глинистые породы нижней части надсерии Виндхья/серия Семри; 8 – песчаники и глинистые породы формации Серпент; 9 – песчаники и глинистые породы бассейна Йиянг; 10 – песчаники формации Омдурман; 11 – силикокластические образования бассейна Окаванго; 12 – песчаники формации Малузина; 13 – песчаники формации Нухул; 14 – песчаники серии Банкси; 15 – песчаники и глинистые породы формации Гамбл Брук; 16 – глинистые породы бассейна Сатпура; 17 – псаммиты формации Силлаккуди; 18 – песчаники и глинистые породы бассейна Доуала; 19 – песчаники и глинистые породы серии Верхний Оранжемунд; 20 – песчаники и глинистые породы формации Нанмингшу; 21 – песчаники формаций Мотур, Пачмархи, Денва, Талчир, Баракар и Биджори, пермь-триас, бассейн Сатпура; 22 – глинистые породы формации Тину; 23 – песчаники и глинистые породы айской свиты; 24 – песчаники и глинистые породы прикамской свиты; 25 – глинистые породы серий Асу Ривер и Кросс Ривер; 26 – глинистые породы формаций Бир Магхара и Сафа; 27 – глинистые породы бассейна Конго; 28 – глинистые породы основания разреза Японского моря; 29 – глинистые породы бассейна Олите; 30 – глинистые породы бассейна Кришна-Годавари; 31 – глинистые породы верхнего триаса-нижней юры гор Пелоритани; 32 – глинистые породы Фрайкинского бассейна; 33 – глинистые породы среднего триаса-верхней юры Внутренних Доменов запада Центральной части Средиземноморья; 34 – глинистые породы формации Тадкешвар; 35 – глинистые породы Рифского сектора Магрибской цепи, Марокко; 36 – песчаники серий Оронто и Бейфилд. (б): 1 – песчаники верхнего венда Беломорско-Кулойского плато; 2 – песчаники и глинистые породы верхнего венда Днестровского перикратона/Львовско-Кишиневская впадина; 3 – песчаники верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины; 4 – песчаники верхнего венда центральной части Московской синеклизы (скв. Гаврилов Ям); 5 – глинистые породы верхнего венда Южного Урала; 6 – песчаники и глинистые породы средней и верхней юры Верхнеамурского межгорного прогиба; 7 – песчаники кечпельской свиты; 8 – песчаники и глинистые породы корфской свиты; 9 – песчаники серии Фиг Три; 10 – песчаники серии Кунделунги; 11 – песчаники серии Хортон; 12 – песчаники серий Лейк Мауриц и Ангулия; 13 – песчаники серии Ауерниг; 14 – песчаники Швейцарского молассового бассейна; 15 – песчаники Шварцвальда; 16 – песчаники бассейнов Хаммамат, Карим, Эль Майя и др.; 17 – песчаники серии Джорджвилл; 18 – песчаники формации Бичайл Кав; 19 – песчаники бассейнов Мануэрикия, Ида, Маниотото и др.; 20 – песчаники и глинистые породы серии Эрайсэйдж; 21 – глинистые породы верхнего венда Среднего Урала; 22 – глинистые породы тунгусикской серии; 23 – глинистые породы верхневороговской и чингасанской серий; 24 – глинистые породы верхнего карбона–нижнего триаса, южноуральский сегмент Предуральского прогиба; 25 – глинистые породы карбона и перми, среднеуральский сегмент Предуральского прогиба; 26 – глинистые породы алугинской свиты; 27 – глинистые породы мела и нижнего неогена Сицилийского домена; 28 – глинистые породы Индо-Гангского прогиба; 29 – глинистые породы бассейнов Лагонегро и Нумидийский; 30 – глинистые породы верхнего венда, Вычегодский прогиб Мезенской впадины.

(Rifian sector) Магрибской цепи, средний-верхний триас, Марокко (Zaghoul et al., 2010); 36) песчаники серий Оронто (Oronto Group) и Бейфилд (Bayfield Group), верхи мезопротерозоя, рифтовая область Мидконтинента, США (Cullers, Berendsen, 1998).

Породы, слагающие *осадочные последовательности коллизионного этапа*, представлены (рис. 16)⁷: 1) песчаниками верхнего венда Беломорско-Кулойского плато, Мезенская впадина, Россия (Гражданкин и др., 2005; Маслов и др., 2008); 2) песчаниками и глинистыми породами верхнего венда Днестровского перикратона/Львовско-Кишиневская впадина, Украина (Сокур, 2012; Маслов и др., 2015б); 3) песчаниками верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины, Волго-Уральская область, Россия (Маслов, 2012); 4) песчаниками верхнего венда центральной части Московской синеклизы (скв. Гаврилов Ям), Россия (материалы из банка данных "PrecSed", ИГГД РАН, А.В. Сочава и В.Н. Подковыров); 5) глинистыми породами верхнего венда Южного Урала, Россия (Маслов, 2014); 6) песчаниками и глинистыми породами средней и верхней юры Верхнеамурского межгорного прогиба, Россия (Смирнова и др., 2014; Маслов и др., 2015б); 7) песчаниками кечпельской свиты нижней перми Лемвинской зоны, север Предуральского краевого прогиба, Россия (Юдович, 1981; Юдович и др., 1998); 8) песчаниками корфской свиты раннего-среднего плиоцена, Олюторский прогиб, Корякское нагорье, Россия (Геосинклинальный..., 1987; Малиновский, 1993); 9) песчаниками серии Фиг Три (Fig Tree Group), архей зеленокаменного пояса Барбертон, Южная Африка (Toulkeridis et al., 1999); 10) песчаниками неопротерозойской серии Кунделунги (Kundelungu Group), Катангский бассейн (Katangan Basin), Демократическая Республика Конго и Замбия (Batumike et al., 2006); 11) песчаниками серии Хортон (Horton Group), поздний девон-ранний карбон, бассейн Магдален (Magdalen), Новая Шотландия, Канада (Murphy et al., 1995; Murphy, 2000); 12) песчаниками серий Лейк Мауриц (Lake Maurice Group) и Ангулия (Ungoolya Group), неопротерозой бассейна Оффисер (Officer Basin), Австралия (Wade et al., 2005); 13) песчаниками серии Ауерниг (Auerign Group), поздний карбон, Карнийские Альпы (Carnic Alps), Австрия (Mader, Neubauer, 2004); 14) песчаниками Швейцарского молассового бассейна (Swiss Molasse Basin), палеоцен-эоцен, северная периферия Альпийского складчатого пояса, Швейцария (Von Eynatten, 2003); 15) песчани-

ками верхнего девона Шварцвальда (Black Forest), Германия и Франция (Hegner et al., 2005); 16) песчаниками верхов неопротерозоя, бассейны Хаммамат (Hammamat), Карим (Karim), Эль Майя (El Mayah) и другие, Северная Африка (Holail, Moghazi, 1998); 17) песчаниками позднепротерозойской серии Джорджвилл (Georgeville Group), Новая Шотландия, Канада (Murphy, MacDonald, 1993); 18) песчаниками формации Бичайл Кав (Beechill Cove), нижний-средний палеозой, поднятие Антигониш (Antigonish Rise), Новая Шотландия, Канада (Murphy et al., 1996); 19) песчаниками мела-плиоцена бассейнов Мануэрикия (Manuherikia), Ида (Ida), Маниотото (Maniototo) и другие, район Централ Отаго (Central Otago area), Южный остров Новой Зеландии (Corcoran, 2005); 20) песчаниками и глинистыми породами серии Эрайсэйдж (Arisaig Group), силур-нижний девон, Новая Шотландия, Канада (Murphy et al., 2004); 21) глинистыми породами верхнего венда Среднего Урала, Россия (Гражданкин и др., 2010); 22) глинистыми породами тунгусикской серии низов верхнего рифея, Енисейский кряж, Россия (данные А.Д. Ножкина, опубликованные в (Геохимия..., 2008; Маслов и др., 2015б); 23) глинистыми породами верхневороговской и чингасанской серий верхов верхнего рифея, Енисейский кряж, Россия (данные А.Д. Ножкина, опубликованные в (Геохимия..., 2008); 24) глинистыми породами верхнего карбона-нижнего триаса, южноуральский сегмент Предуральского прогиба, Россия (Маслов и др., 2015а); 25) глинистыми породами карбона и перми, среднеуральский сегмент Предуральского прогиба, Россия (Маслов и др., 2015б); 26) глинистыми породами алугинской свиты, олигоцен, Олюторский прогиб, Камчатка, Россия (Малиновский, 1993); 27) глинистыми породами мела и нижнего неогена Сицилийского домена (Sicilian domain) Альпийского складчатого пояса, Италия (Barbera et al., 2009); 28) глинистыми породами среднего миоцена-плейстоцена Индо-Гангского прогиба (Indus-Ganges Trough), Индия (Das et al., 2006); 29) глинистыми породами бассейнов Лагонегро (Lagonegro Basin) и Нумидийский (Numidian Basin), Южные Апеннины, Италия (Mongelli, 2002); 30) глинистыми породами верхнего венда, Вычегодский прогиб Мезенской впадины, Россия (Подковыров и др., 2011).

Основным инструментом исследований, как и ранее (Маслов и др., 2013, 2015б, 2019 и др.), являлся анализ положения полей фигуративных точек составов глинистых пород (аргиллитов/глинистых сланцев/метапелитов) и песчаников на разных диаграммах. Всего учтено почти 2180 полных химических анализов (синрифтовые глинистые породы – 672 анализа, то же, песчаники – 442; синколлизионные глины – 645, то же, песчаники – 420 анализов),

⁷ Анализы валового химического состава песчаников различных синколлизионных последовательностей приведены в (Маслов и др., 2013). Общие особенности состава синколлизионных глинистых пород рассмотрены в (Маслов и др., 2015б).

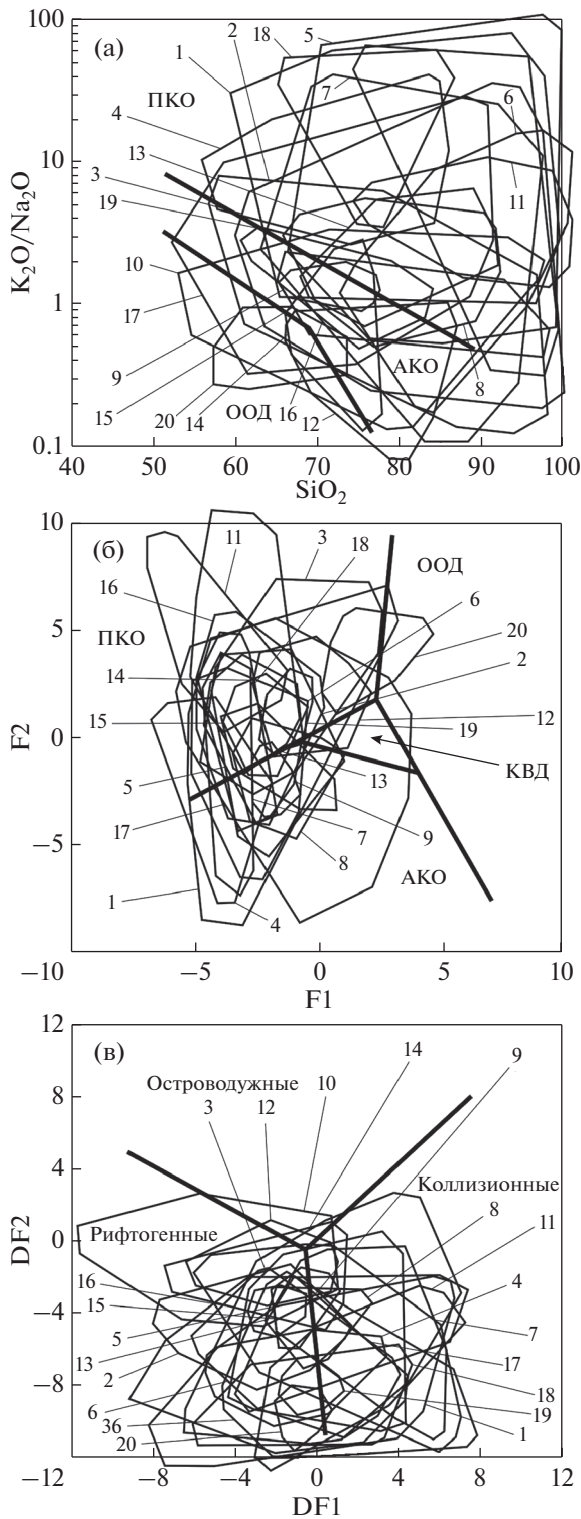


Рис. 2. Положение полей синрифтовых песчаниковых ассоциаций на диаграммах K_2O/Na_2O (а), F1–F2 (б) и DF1–DF2 (в). Номера полей соответствуют номерам на рис. 1а. Области составов, отвечающих, по представлениям (Bhatia, Crook, 1986; Roser, Korsch, 1986), различным геодинамическим обстановкам: ПКО – пассивные континентальные окраины; АКО – активные континентальные окраины; КВД – (при)континентальные вулканические дуги; ООД – океанические островные дуги.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОЛЕЙ СОСТАВОВ СИНРИФТОВЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ДИАГРАММАХ

Песчаники

На диаграмме SiO_2 – K_2O/Na_2O большинство полей синрифтовых песчаников, образованных совокупностями индивидуальных точек состава, локализовано в области составов, характерных, по представлениям (Roser, Korsch, 1986), для пород пассивных континентальных окраин (рис. 2а). Для существенной их части характерно расположение и в области ПКО и в области окраин активных. Некоторые же поля синрифтовых песчаников (например, песчаники формаций Малузина, Гамбл Брук и Нанмингшу) тяготеют к областям составов, свойственным активным континентальным окраинам и океаническим островным дугам.

На диаграмме F1–F2 преобладающая часть полей синрифтовых песчаников сосредоточена в области составов, характерных для пассивных континентальных окраин. Несколько меньшее число их занимает положение и в этой области и в области составов, присущих АКО (например, песчаники машакской свиты, чингасанской серии, формаций Серпент и Силлаккуди, бассейна Йиянг и др.) (рис. 2б). Поле составов песчаников формации Нанмингшу и на данном графике частично отвечает области ПКО, а частично – области ООД.

На высокремнистой диаграмме DF1–DF2 подавляющая часть полей синрифтовых песчаников, образованных индивидуальными точками состава, расположена одновременно и в области составов, свойственных, по мнению авторов данной диаграммы, коллизионным обстановкам, и обстановкам рифтогенным (рис. 2в). В последней области более или менее полностью расположены фигуративные точки составов песчаников только трех ассоциаций (песчаники неогенового бассейна Йиянг, песчаники формаций Омдурман и Малузина) из рассматриваемых нами двадцати одной.

Средние точки состава большинства рассмотренных нами синрифтовых песчаниковых ассоциаций на диаграмме DF1–DF2 сосредоточены в основном вблизи границы, разделяющей области пород, слагающих рифтогенные и коллизионные последовательности (рис. 3а). Исключением являются только средние точки песчаников аршинской серии верхнего протерозоя Южного Урала, неогенового бассейна Йиянг Северного Китая, меловой формации Омдурман Хартумского бассейна, пермской формации Малузина, Словакия, а также верхнемеловой формации Силлаккуди индийского бассейна Кавери, локализованные в области рифтогенных образований.

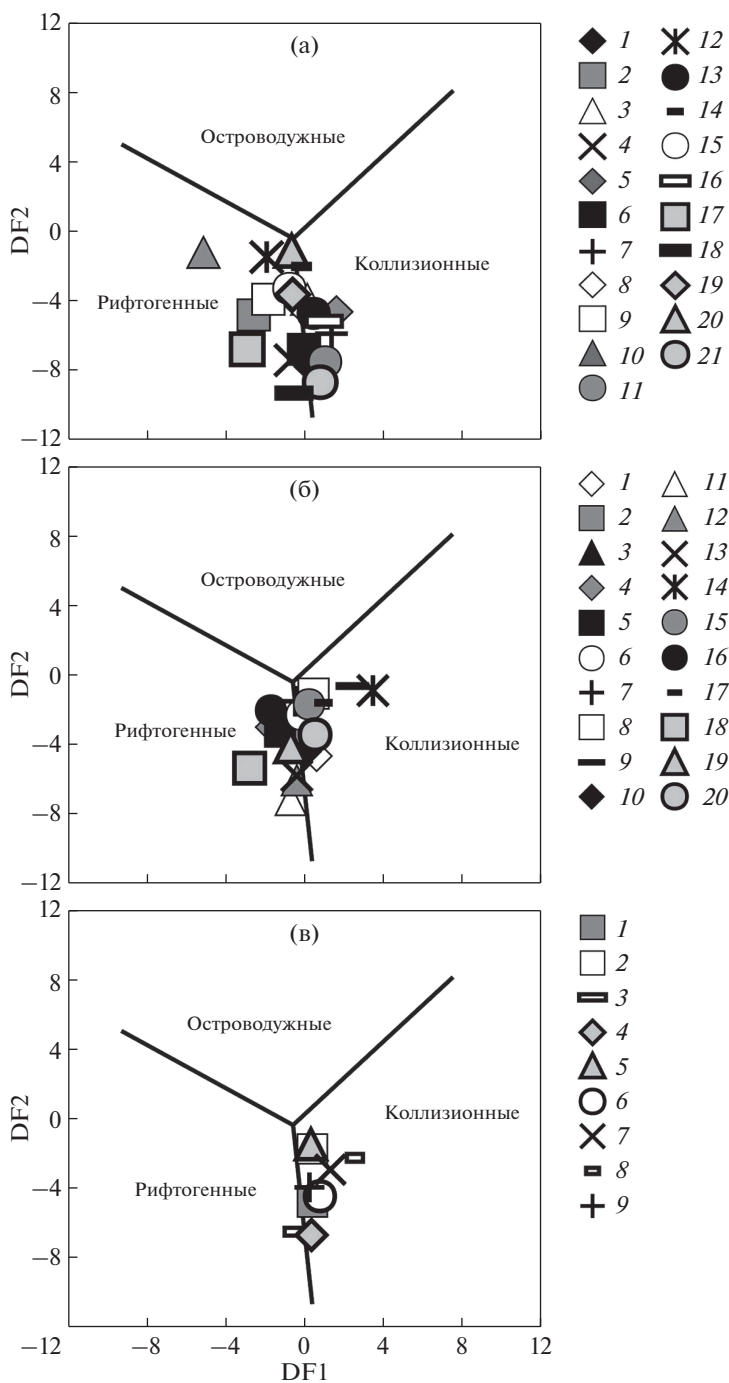


Рис. 3. Положение средних точек синрифтовых песчаников (а), синколлизионных глинистых (б) и песчаных (в) пород на диаграмме DF1–DF2. (а) – синрифтовые песчаники (возрастную привязку всех перечисленных ниже объектов см. рис. 2): 1 – машакской свиты; 2 – аршинской серии; 3 – уйской серии; 4 – чингасанской серии; 5 – надсерии Белт-Перселл; 6 – серии Юинта Маунтин; 7 – серии Семри; 8 – формации Серпент; 9 – бассейна Йиянг; 10 – формации Омдурман; 11 – бассейна Окаванго; 12 – формации Малузина; 13 – формации Нухул; 14 – серии Банкси; 15 – формации Гамбл Брук; 16 – бассейна Сатпура; 17 – формации Силлаккуди; 18 – бассейна Доуала; 19 – серии Верхний Оранжемунд; 20 – формации Нанмингшу; 21 – серий Оронто и Бейфилд; (б) – синколлизионные песчаники: 1 – Беломорско-Кулойского плато; 2 – Днестровского перикратона/Львовско-Кишиневской впадины; 3 – Шкаповско-Шиханской впадины; 4 – центральной части Московской синеклизы; 5 – Южного Урала; 6 – Верхнеамурского прогиба; 7 – кечпельской свиты; 8 – корфской свиты; 9 – серии Фиг Три; 10 – серии Кунделунги; 11 – серии Хортон; 12 – серий Лейк Мауриц и Ангулиа; 13 – серии Ауерниг; 14 – Швейцарского молассового бассейна; 15 – Шварцвальда; 16 – бассейнов Хаммамат, Карим, Эль Майя и др.; 17 – серии Джорджвилл; 18 – формации Бичайл Кав; 19 – бассейнов Мануэрикиа, Ида, Маниготто и др.; 20 – серии Эрайсэйдж; (в) – синколлизионные глинистые породы: 1 – Днестровского перикратона/Львовско-Кишиневской впадины; 2 – корфской свиты; 3 – тунгусикской серии; 4 – верхневороговской и чингасанской серий; 5 – алугинской свиты; 6 – Сицилийского домена; 7 – Индо-Гангского прогиба; 8 – бассейнов Лагонегро и Нумидийский; 9 – Вычегодского прогиба.

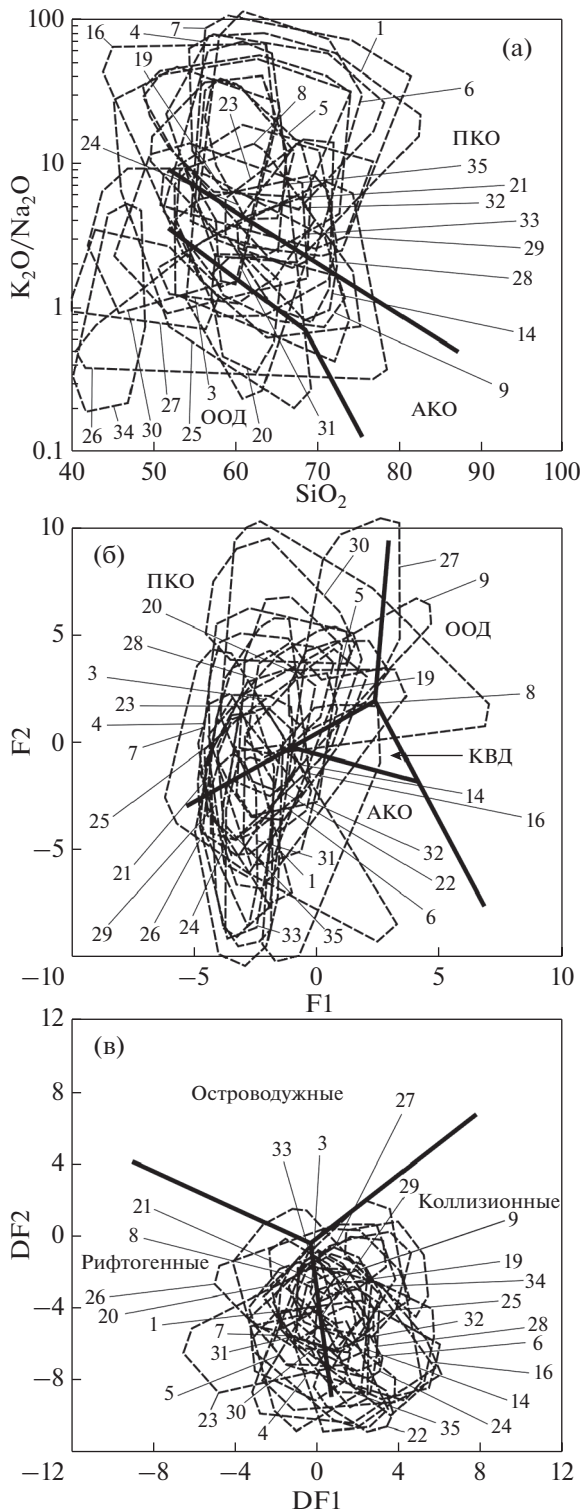


Рис. 4. Положение полей синрифтовых глинистых пород на диаграммах K_2O/Na_2O (а), $F1-F2$ (б) и $DF1-DF2$ (в). Номера полей соответствуют номерам на рис. 1а. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Глинистые породы

Достаточно сходным с синрифтовыми песчаниками распределением на перечисленных дискриминантных диаграммах обладают и синрифтовые тонкозернистые обломочные/глинистые породы. Так, на диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O подавляющее большинство полей последних тяготеет к областям пассивных и активных континентальных окраин (рис. 4а). Некоторые поля синрифтовых глинистых пород расположены одновременно в областях АКО и ООД (например, поля глинистых пород бассейнов Конго и Кришна-Годовари), а фигуративные точки глинистых пород формации Тадкешвар бассейна Камбей образуют поле в пределах области ООД.

На диаграмме $F1-F2$ размеры полей фигуративных точек большинства естественных ассоциаций синрифтовых глинистых пород превосходят размеры выделенных авторами палеогеодинамических областей (рис. 4б), и, соответственно, какого-либо определенного вывода об обстановках их формирования сделать невозможно. Поля ряда ассоциаций частично “проникают” и в области ООД и КВД, но такие примеры немногочисленны (глинистые породы бассейнов Ййяннг и Конго).

Почти аналогичным образом распределены поля синрифтовых глинистых пород, образованных индивидуальными точками состава, и на высококремнистой диаграмме $DF1-DF2$ (рис. 4в). Ни одна из рассмотренных нами их ассоциаций на данном графике не может быть уверенно отнесена к категории “рифтогенных” или “коллизионных”, так как образуемые ими поля расположены и в той и в другой областях. Нет их только в области составов, характерных, по мнению (Verma, Armstrong-Altrin, 2013), для островодужных ассоциаций.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОЛЕЙ СОСТАВОВ СИНКОЛЛИЗИОННЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ДИАГРАММАХ

Песчаники

Синколлизионные песчаники на диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O образуют поля, локализованные в той или иной степени во всех трех ее классификационных областях или двух (ПКО + АКО, АКО + ООД) (рис. 5а). Из сказанного со всей очевидностью следует только один вывод – данную диаграмму нельзя применять для отнесения тех или иных песчаниковых ассоциаций к категории “коллизионных”.

На диаграмме $F1-F2$ подавляющая часть полей, входящих в состав нашего банка данных синколлизионных песчаниковых ассоциаций, локализована в области составов, характерных, по представлениям (Bhatia, Crook, 1986), для пассив-

ных континентальных окраин (рис. 5б). Единственным исключением являются песчаники Швейцарского молассового бассейна: львиная доля индивидуальных точек состава псаммитов этой ассоциации сосредоточена в области АКО, а ряд точек присутствуют и в области ООД. Своеобразное положение характерно для поля песчаников этого бассейна и на ряде других дискриминантных палеогеодинамических диаграмм (Маслов и др., 2013).

Подавляющее число образованных индивидуальными точками состава полей синколлизийных песчаниковых ассоциаций (восемнадцать из двадцати) на диаграмме DF1–DF2 в той или иной степени перекрывает две ее классификационные области – “коллизийных” и “рифтогенных” псаммитов (рис. 5в). Два других поля синколлизийных песчаников почти на 90% принадлежат области “рифтогенных” составов (неопротерозойские песчаники североафриканских бассейнов Хаммамат, Эль Майя, Карим и др., и песчаники формации Бичайл Кав, Новая Шотландия). Это, на наш взгляд, показывает, что диаграмма DF1–DF2 в том виде, как она предложена в работе (Verma, Armstrong-Altrin, 2013), не позволяет разграничить песчаники рифтогенных обстановок от песчаников коллизийных.

Средние точки состава рассматриваемых в настоящей работе синколлизийных песчаников на диаграмме DF1–DF2 также в основном тяготеют к границе областей рифтогенных и коллизийных (по представлениям авторов работы (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) осадочных образований (рис. 3б). Если внимательно присмотреться к их совокупности, то можно увидеть, что в области рифтогенных ассоциаций присутствуют средние точки псаммитов верхнего венда центральной части Московской синеклизы и Южного Урала, позднего девона и раннего карбона (серия Хортон) канадского бассейна Магдален, верхов неопротерозоя североафриканских бассейнов Хаммамат, Карим и Эль Майя, нижне-среднего палеозоя формации Бичайл Кав, Новая Шотландия, а также песчаников мела-плиоцена бассейнов Мануэрикиа, Ида, Маниотото и др. (Новая Зеландия). В то же время средние точки песчаников верхнего венда Беломорско-Кулойского плато, ранне-среднего плиоцена корфской свиты (Корякское нагорье), серии Фиг Три (Южная Африка), палеоцена-эоцена Швейцарского молассового бассейна, верхнего девона Шварцвальда, поздне-неопротерозойской серии Джорджвилл (Новая Шотландия) и силура-нижнего девона серии Эрайсэйдж (Новая Шотландия) на данном графике расположены в области коллизийных составов.

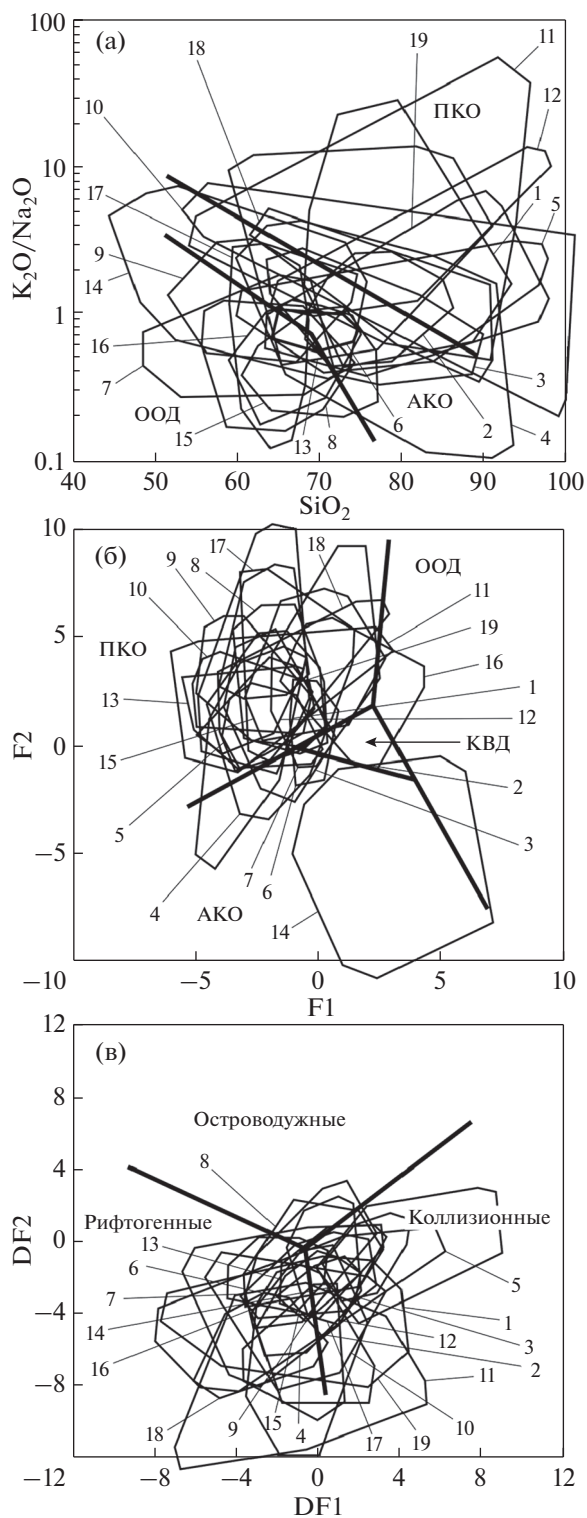


Рис. 5. Положение полей синколлизийных песчаниковых пород на диаграммах K_2O/Na_2O (а), F1–F2 (б) и DF1–DF2 (в). Номера полей соответствуют номерам на рис. 16. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Глинистые породы

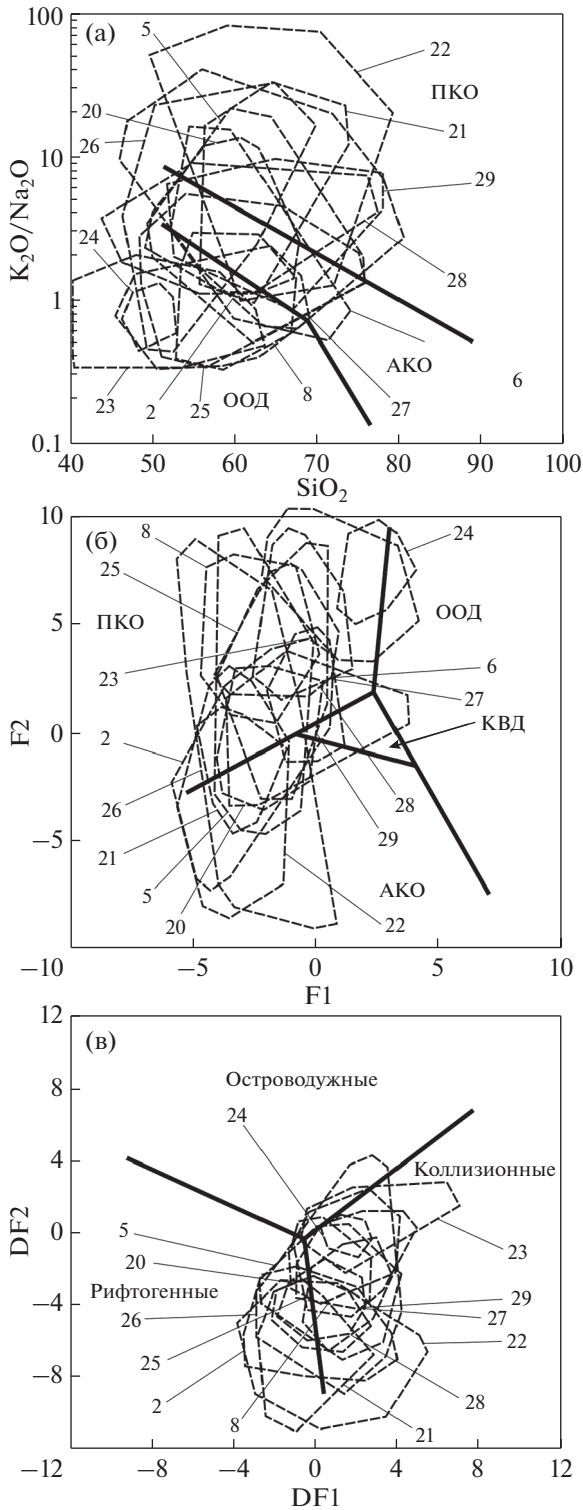


Рис. 6. Положение полей синколлизийных тонкозернистых обломочных/глинистых пород на диаграммах K_2O/Na_2O (а), $F1-F2$ (б) и $DF1-DF2$ (в). Номера полей соответствуют номерам на рис. 16. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Поля синколлизийных тонкозернистых обломочных/глинистых пород на диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O в основном занимают области ПКО и АКО. Для большинства из них характерны существенные вариации и содержания оксида кремния и значений отношения K_2O/Na_2O (рис. 6а). Некоторая часть полей фигуративных точек распределена во всех трех классификационных областях данного графика (например, глинистые породы алугинской свиты Олюторского прогиба), ряд полей расположены только в области составов, характерных, по представлениям авторов работы (Roser, Korsch, 1986), для океанических островных дуг (глинистые/тонкозернистые обломочные породы верхневороговской и чингасанской серий Енисейского кряжа, а также глинистые породы верхнего карбона-нижнего триаса южноуральского сегмента Предуральского прогиба. Однако если первые почти не содержат примеси карбонатных минералов, то для вторых это более чем свойственно).

Распределение полей состава синколлизийных глинистых пород на диаграмме $F1-F2$ в заметной степени сопоставимо с распределением на ней полей синколлизийных песчаных ассоциаций. Значительная часть полей глинистых пород сосредоточена здесь также в области составов, свойственных пассивным континентальным окраинам (рис. 6б). Однако для половины (семь из четырнадцати) полей синколлизийных глинистых образований присуще "проникновение" и в область АКО (это глинистые породы верхнего венда Днестровского перикратона, Южного и Среднего Урала, глинистые породы верхнерифейской тунгусикской серии Енисейского кряжа, тонкозернистые обломочные породы алугинской свиты Камчатки, а также глинистые породы бассейнов Лагонегро и Нумидийский, Южные Апеннины).

На высокремнистой диаграмме $DF1-DF2$ поля синколлизийных глинистых пород, образованные индивидуальными точками состава, из нашего банка данных в основном расположены в областях составов, свойственных коллизийным и рифтогенным образованиям (рис. 6в). Несколько меньше половины (шесть из тринадцати) тяготеет преимущественно к области коллизийных обстановок; индивидуальные точки составов одного поля глинистых пород (тонкозернистые обломочные породы алугинской свиты Олюторского прогиба) распределены во всех трех классификационных областях данного графика.

Средние точки проанализированных нами примеров синколлизийных глинистых (а во многих случаях и в ассоциации с песчаниками) пород на диаграмме $DF1-DF2$ также как и точки рифтогенных песчаников тяготеют к границе,

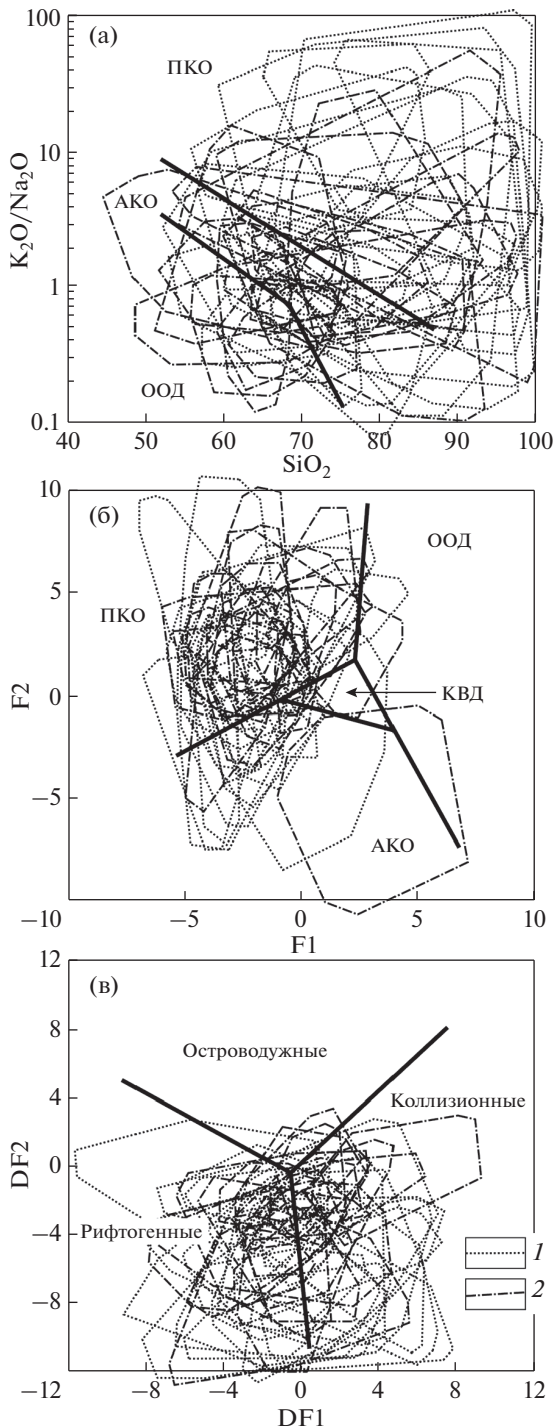


Рис. 7. Положение полей синрифтовых (1) и синколлизионных (2) песчаников на диаграммах K_2O/Na_2O (а), F_1-F_2 (б) и DF_1-DF_2 (в).

разделяющей области рифтогенных и коллизионных пород, но все-таки преимущественно локализованы в области коллизионных образований (рис. 3в). Исключением здесь является средняя точка глинистых пород верхнерифейской тунгусикской серии Енисейского кряжа. Ее положение

на диаграмме DF_1-DF_2 не позволяет сделать какого-либо определенного вывода о геодинамической природе осадочных пород названного крупного литостратиграфического подразделения.

СРАВНЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ СОСТАВОВ СИНРИФТОВЫХ И СИНКОЛЛИЗИОННЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ДИАГРАММАХ

Распределение полей песчаников синрифтовых и синколлизионных осадочных последовательностей на диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O (рис. 7а) показывает, что принципиальной разницы между ними нет. Это же можно сказать, исходя из локализации их полей на диаграммах F_1-F_2 (рис. 7б) и DF_1-DF_2 (рис. 7в). Даже если не ориентироваться на классификационные области составов, выделенные на данных графиках их авторами, то поля и синрифтовых и синколлизионных терригенных ассоциаций занимают почти всю их площадь, и соответственно принципиальных различий между ними по валовому химическому составу, по-видимому, нет.

Распределение полей синрифтовых и синколлизионных тонкозернистых обломочных/глинистых пород на перечисленных дискриминантных палеогеодинамических диаграммах также в существенной мере сходно (рис. 8). Это дает возможность считать, что ни диаграмма SiO_2-K_2O/Na_2O , ни диаграммы F_1-F_2 и DF_1-DF_2 не позволяют с существенной долей уверенности разграничивать синрифтовые и синколлизионные терригенные ассоциации. Соответственно полученные с их помощью выводы нельзя рассматривать как один из основных или единственный аргумент в пользу тех или иных суждений о геодинамической природе осадочных образований. Этот вывод практически полностью подтверждает предположения, сделанные нами ранее (Маслов и др., 2013, 2015б, 2016).

ВЫВОДЫ

Самый очевидный вывод из анализа приведенных выше многочисленных диаграмм состоит в том, что все они, за исключением может быть диаграммы SiO_2-K_2O/Na_2O , дают возможность более или менее успешно разграничить осадочные образования активных (океанические, приконтинентальные и континентальные островные дуги) и пассивных (рифтогенные и коллизионные области, а также пассивные континентальные окраины) обстановок. Однако, несомненно, что такой вывод может быть нами получен и при рутинном микропетрографическом исследовании песчаников. Несколько более сложным является эта задача при исследовании осадочных последовательностей, сложенных преимущественно

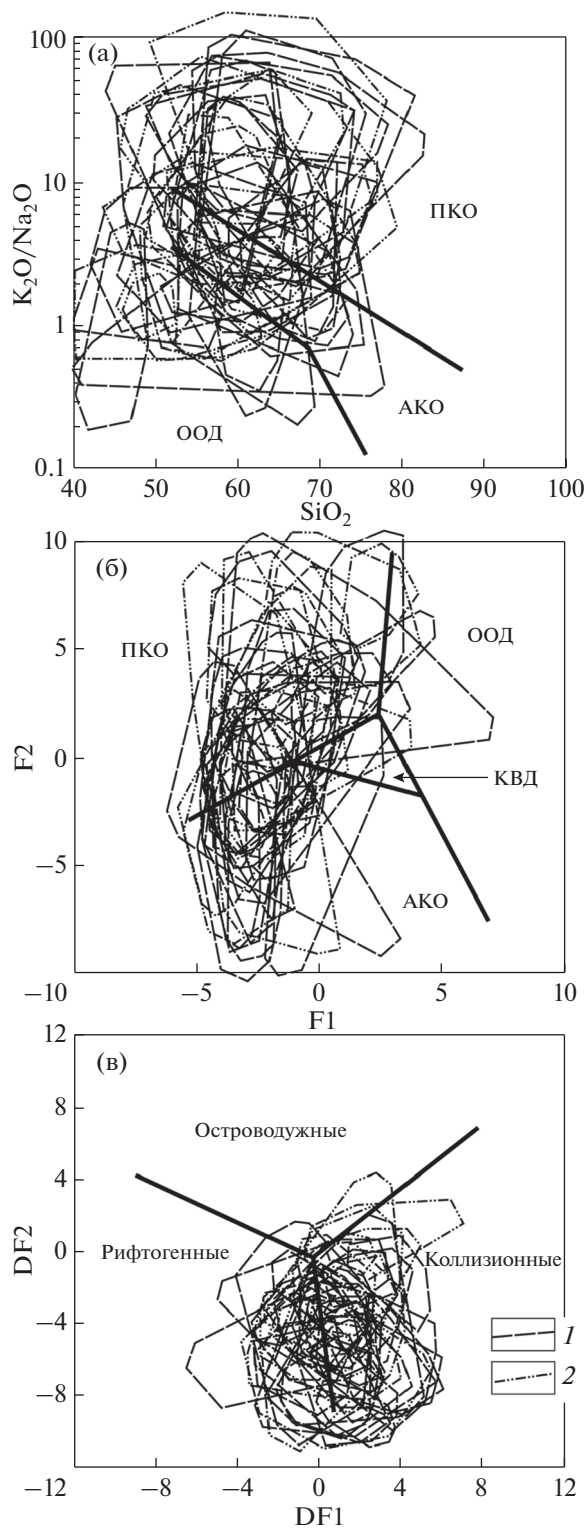


Рис. 8. Положение полей синрифтовых (1) и синколлизонных (2) глинистых пород на диаграммах K_2O/Na_2O (а), $F1-F2$ (б) и $DF1-DF2$ (в).

но глинистыми породами, но и в данном случае возможности использования данных о присущих им содержаниях и соотношениях основных породообразующих оксидов для палеогеодинамических реконструкций не следует переоценивать.

Таким образом, начиная с конца первого десятилетия XXI в. (Маслов и др., 2013 и др.) исследования литохимических особенностей терригенных пород различных геодинамических обстановок и предполагая тем или иным образом “улучшить” существующие или создать свои/новые (!?) дискриминантные диаграммы для разграничения песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных геодинамических обстановок, мы в итоге (и достаточно неожиданно для себя) должны констатировать, что ни одна из известных в настоящее время диаграмм такой возможности при анализе распределения на них естественных полей состава терригенных пород⁸ не дает. Вряд ли более успешной будет попытка использовать в этих целях только средние для тех или иных породных ассоциаций значения различных индикаторных отношений и дискриминантных функций.

Авторы искренне признательны Н.С. Глушковой за выполнение иллюстраций.

Сбор, анализ и интерпретация результатов выполнены в рамках темы № АААА-А18-118053090044-1 госзадания ИГГ УрО РАН и темы НИР № 0153-2019-0003 госзадания ИГГД РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геосинклинальный литогенез на границе континент-океан* (1987) М.: Наука, 176 с.
- Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии* (2008) Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) *Осадочные системы сыльицкой серии (верхний венд Среднего Урала)*. Екатеринбург: УрО РАН, 280 с.
- Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. (2005) Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-восточное Беломорье). *Литология и полезные ископаемые*. (3), 267-280.
- Лиханов И.И., Ревердатто В.В. (2015) Неопротерозойские комплексы-индикаторы континентального рифтогенеза как свидетельство процессов распада Родинии на западной окраине Сибирского кратона. *Геохимия*. (8), 675-694.
- Likhanov I.I., Reverdatto V.V. (2015) Evidence of Middle Neoproterozoic extensional tectonic settings along the western margin of the Siberian craton: Implications for the breakup of Rodinia. *Geochem. Int.*, **53**(8), 671-689.

⁸ Т.е. полей, построенных на основе объединения многочисленных индивидуальных фигуративных точек состава песчаников или глинистых пород.

- Малиновский А.И. (1993) *Кайнозойская моласса юга Корякского нагорья*. Владивосток: Дальнаука, 228 с.
- Маслов А.В. (2014) Литогеохимический облик отложенный ашинской серии венда западного склона Южного Урала. *Литосфера*. (1), 13-32.
- Маслов А.В. (2012) *Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области*. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 248 с.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. (2008) Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна. *Литология и полезные ископаемые*. (3), 290-312.
- Маслов А.В., Ишерская М.В. (1998) *Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность)*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 286 с.
- Маслов А.В., Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. (2018) Аршинская серия рифея Южного Урала: к вопросу о геодинамической природе породных ассоциаций. *ДАН*. **480**(1), 64-68.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Бадида Л.В., Крупенин М.Т., Вовна Г.М., Киселёв В.И., Ронкин Ю.Л. (2015a) *Литогеохимия терригенных ассоциаций южных впадин Предуральяского прогиба*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 308 с.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Сокур Т.М. (2013) Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии. *Литология и полезные ископаемые*. (1), 70-96.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Ножкин А.Д., Сокур Т.М., Малиновский А.И., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Гареев Э.З., Дмитриева Н.В., Крупенин М.Т., Летникова Е.Ф. (2015b) Синорогенные глинистые породы: особенности валового химического состава и палеотектоника. *Геохимия*. (6), 512-538.
- Maslov A.V., Mizens G.A., Krupenin M.T., Podkovyrov V.N., Nozhkin A.D., Dmitrieva N.V., Letnikova E.F., Sokur T.M., Malinovskii A.I., Sorokin A.A., Smirnova Y.N., Gareev E.Z. (2015b) Synorogenic clay rocks: Specifics of bulk composition and paleotectonics. *Geochem. Int.* **53**(6), 510-533.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Котова Л.Н. (2019) Синрифтовые глинистые породы: валовый химический состав и положение на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах. *Геохимия*. **64**(6), 618-633.
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Kotova L.N. (2019) Synrift clayey rocks: bulk chemical composition and position on discriminant paleogeodynamic diagrams. *Geochem. Int.* **57**(6), 682-697.
- 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.
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Mizens G.A., Nozhkin A.D., Fazliakhmetov A.M., Malinovsky A.I., Khudoley A.K., Kotova L.N., Kuptsova A.V., Gareev E.Z., Zainullin R.I. (2016) Tectonic setting discrimination diagrams for terrigenous rocks: a comparison. *Geochem. Int.* **54**(7), 569-583.
- Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.С. (2007) Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях образования. *Геология и геофизика*. **48**(12), 1307-1320.
- Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Постников А.А., Травин А.В., Эрнст Р.Е. (2008) Неопротерозойский рифтогенный и интрузивный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии. *Геология и геофизика*. **49**(7), 666-688.
- Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. (1986) *Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского антиклинория*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 103 с.
- Подковыров В.Н. (2001) Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемотратиграфия, геодинамические обстановки формирования). Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 37 с.
- Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2011) Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда южной части Вычегодского прогиба. *Литология и полезные ископаемые*. (5), 484-504.
- Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. (2002) Глинистые отложения сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования. *Литология и полезные ископаемые*. (4), 397-418.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Попеко Л.И. (2014) Особенности химического состава и тектонические условия накопления юрских терригенных отложений Верхнеамурского и Зей-Депского прогибов восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. *ДАН*. **454**(4), 447-451.
- Сокур Т.М. (2012) Литологические и геохимические особенности аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. *Наук. праці ДНТУ. Серія "Гірнично-геологічна"*. (206), 12-19.
- Юдович Я.Э. (1981) *Региональная геохимия осадочных толщ*. Л.: Наука, 276 с.
- Юдович Я.Э., Шишкин М.А., Лютиков Н.В., Кетрис М.П., Беляев А.А. (1998) *Геохимия и рудогенез черных сланцев Лемвинской зоны севера Урала*. Сыктывкар: Пролог, 340 с.
- Adeigbe O.C., Jimoh Y.A. (2013) Geochemical Fingerprints; Implication for Provenance, Tectonic and Depositional Settings of Lower Benue Trough Sequence, South-eastern Nigeria. *J. Environm. Earth Sci.* **3**(10), 115-140.
- Armstrong-Altrin J.S., Verma S.P. (2005) Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings. *Sed. Geol.* **177**, 115-129.
- Bakkiaraj D., Nagendra R., Nagarajan R., Armstrong-Altrin J.S. (2010) Geochemistry of Sandstones from the Upper Cretaceous Sillakkudi Formation, Cauvery Basin, Southern India: Implication for Provenance. *J. Geol. Soc. India*. **76**, 453-467.
- Barbera G., Giudice A.L., Mazzoleni P., Pappalardo A. (2009) Combined statistical and petrological analysis of provenance and diagenetic history of mudrocks: Application to Alpine Tethys shales (Sicily, Italy). *Sed. Geol.* **213**, 27-40.
- Basei M.A.S., Frimmel H.E., Nutman A.P., Preciozzi F., Jacob J. (2005) A connection between the Neoproterozoic Dom Feliciano (Brazil/Uruguay) and Gariep (Namibia/South Africa) orogenic belts – evidence from a reconnaissance provenance study. *Prec. Res.* **139**, 195-221.

- Batumike M.J., Kampunzu A.B., Cailteux J.H. (2006) Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Nguba and Kundelungu Groups, Katangan Supergroup, southeast Congo: Implications for provenance, paleoweathering and geotectonic setting. *J. Afr. Earth Sci.* **44**, 97-115.
- Bhatia M.R. (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.* **91**, 611-627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contr. Mineral. Petrol.* **92**, 181-193.
- Cai G., Guo F., Liu X., Sui S. (2011) Elemental and Sr–Nd isotopic compositions of Cenozoic sedimentary rocks from the Dongying Sag of Jiyang depression, North China: Implications for provenance evolution. *Geochem. J.* **45**, 33-55.
- Cai G., Guo F., Liu X., Sui S., Li C., Zhao L. (2008) Geochemistry of Neogene sedimentary rocks from the Jiyang basin, North China Block: The roles of grain size and clay minerals. *Geochem. J.* **42**, 381-402.
- Caracciolo L., von Eynatten H., Tolosana-Delgado R., Critelli S., Manetti P., Marchev P. (2012) Petrological, geochemical, and statistical analysis of Eocene-Oligocene sandstones of the Western Thrace basin, Greece and Bulgaria. *J. Sediment. Res.* **82**, 482-498.
- Condie K.C., Lee D., Farmer G.L. (2001) Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood groups, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes. *Sed. Geol.* **141–142**, 443-464.
- Corcoran P.L. (2005) Recycling and chemical weathering in tectonically controlled Mesozoic-Cenozoic basins of New Zealand. *Sedimentology*. **52**, 757-774.
- Cullers R.L., Berendsen P. (1998) The provenance and chemical variation of sandstones associated with the Mid-Continent Rift System, U.S.A. *European J. Mineralogy*. **10**, 987-1002.
- Cullers R.L., Podkovyrov V.N. (2002) The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia. *Prec. Res.* **117**, 157-183.
- Das B.K., Al-Mikhlaifi A.S., Kaur P. (2006) Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *J. Asian Earth Sci.* **26**, 649-668.
- Deru X., Xuexiang G., Pengchun L., Guanghao C., Bin X., Bachlinski R., Zhuanli H., Gonggu F. (2007) Mesoproterozoic–Neoproterozoic transition: Geochemistry, provenance and tectonic setting of clastic sedimentary rocks on the SE margin of the Yangtze Block, South China. *J. Asian Earth Sci.* **29**, 637-650.
- Elzien S.M., Farah A.A., Alhaj A.B., Mohamed A.A., Al-Imam O.A.O., Hussein A.H., Khalid M.K., Hamed B.O., Alhaj A.B. (2014) Geochemistry of Merkhayat Sandstones, Omdurman Formation, Sudan: Implication of depositional environment, provenance and tectonic setting. *Int. J. Geology, Agriculture and Environmental Sci.* **2**(3), 10-15.
- Fedo C.M., Young G.M., Nesbitt H.W. (1997) Paleoclimatic control on the composition of the Paleoproterozoic Serpent Formation, Huronian Supergroup, Canada: a greenhouse to icehouse transition. *Prec. Res.* **86**, 201-223.
- Ghandour I.M., Masuda H., Maejima W. (2003) Mineralogical and chemical characteristics of Bajocian-Bathonian shales, G. Al-Maghara, North Sinai, Egypt: Climatic and environmental significance. *Geochem. J.* **37**, 87-108.
- Ghosh S., Sarkar S. (2010) Geochemistry of Permo-Triassic mudstone of the Satpura Gondwana basin, central India: Clues for provenance. *Chem. Geol.* **277**, 78-100.
- Ghosh S., Sarkar S., Ghosh P. (2012) Petrography and major element geochemistry of the Permo-Triassic sandstones, central India: Implications for provenance in an intracratonic pull-apart basin. *J. Asian Earth Sci.* **43**, 207-240.
- González-Álvarez I.J. (2005) Geochemical Study of the Mesoproterozoic Belt-Purcell Supergroup, Western North America: Implications for Provenance, Weathering and Diagenesis. *A Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Earth Sciences*. Saskatoon: University of Saskatchewan, 243 p.
- Harris N.B. (2000) Evolution of the Congo rift basin, West Africa: an inorganic geochemical record in lacustrine shales. *Basin Res.* **12**, 425-445.
- Hegner E., Gruler M., Hann H.P., Chen F., Guldenpfening M. (2005) Testing tectonic models with geochemical provenance parameters in greywacke. *J. Geol. Soc. (London)* **162**, 87-96.
- Holail H.M., Moghazi A.-K.M. (1998) Provenance, tectonic setting and geochemistry of greywackes and siltstones of the Late Precambrian Hammamat Group, Egypt. *Sed. Geol.* **116**, 227-250.
- Huntsman-Mapila P., Kampunzu A.B., Vink B., Ringrose S. (2005) Cryptic indicators of provenance from the geochemistry of the Okavango Delta sediments, Botswana. *Sed. Geol.* **174**, 123-148.
- Ishiga H., Dozen K., Sampei Y. (1999) Geochemical constraints on marine invasion and provenance change related to the opening of the Japan Sea: an example from the Lower Miocene shales in the Hoda section, Shimane Peninsula, SW Japan. *J. Asian Earth Sci.* **17**, 443-457.
- Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stem 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 Rhiphean-Vendian Basin of southeastern Siberia. *Prec. Res.* **111**, 129-163.
- Kroonenberg S.B. (1994) Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceedings of the 29th Inter. Geological Congress*. Part A, 69-81.
- Lopez J.M.G., Bauluz B., Fernandez-Nieto C., Oliete A.Y. (2005) Factors controlling the trace-element distribution in fine-grained rocks: the Albian kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain). *Chem. Geol.* **214**, 1-19.
- Mader D., Neubauer F. (2004) Provenance of Palaeozoic sandstones from the Carnic Alps (Austria): petrographic and geochemical indicators. *Int. J. Earth Sci.* **93**, 262-281.
- Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju (1982) Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin. *Geol. Soc. (London), Spec. Publ.* **10**, 551-561.
- Mazumdar A., Kocherla M., Carvalho M.A., Peketi A., Joshi R.K., Mahalaxmi P., Joao H.M., Jisha R. (2015) Geochemical characterization of the Krishna-Godavari and Mahanadi offshore basin (Bay of Bengal) sediments: A comparative study of provenance. *Marine and Petroleum Geol.* **60**, 18-33.
- Mongelli G. (2002) Geochemistry of shales from the southern Apennines (Italy): source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting. *Trends Geochem.* **2**, 101-124.
- Murphy J.B. (2002) Geochemistry of the Neoproterozoic metasedimentary Gamble Brook Formation, Avalon terrane, Nova Scotia: Evidence for a rifted-arc environment along the West Gondwanan margin of Rodinia. *J. Geol.* **110**, 407-419.

- Murphy J.B. (2000) Tectonic influence on sedimentation along the southern flank of the late Paleozoic Magdalen basin in the Canadian Appalachians: Geochemical and isotopic constraints on the Horton Group in the St. Marys basin, Nova Scotia. *Geol. Soc. Am. Bull.* **112**(7), 997-1011.
- Murphy J.B., Fernandez-Suarez J., Jeffries T.E. (2004) Litho-geochemical and Sm-Nd and U-Pb isotope data from the Silurian-Lower Devonian Arisaig Group clastic rocks, Avalon terrane, Nova Scotia: A record of terrane accretion in the Appalachian Caledonide orogen. *Geol. Soc. Am. Bull.* **116**(9/10), 1183-1201.
- Murphy J.B., Keppie J.D., Braid J.F., Nance R.D. (2005) Geochemistry of the Tremadocian Tiñu Formation (Southern Mexico): Provenance in the Underlying ~1 Ga Oaxacan Complex on the Southern Margin of the Rheic Ocean. *Int. Geol. Rev.* **47**, 887-900.
- Murphy J.B., Keppie J.D., Dostal J., Waldron J.W.F., Cude M.P. (1996) Geochemical and isotopic characteristics of Early Silurian clastic sequences in Antigonish Highlands, Nova Scotia, Canada: constraints on the accretion of Avalonia in the Appalachian-Caledonide Orogen. *Can. J. Earth Sci.* **33**, 379-388.
- Murphy J.B., MacDonald D.L. (1993) Geochemistry and tectonic discrimination of Late Proterozoic arc-related volcanoclastic turbidite sequences, Antigonish Highlands, Nova Scotia. *Can. J. Earth Sci.* **30**, 2273-2282.
- Murphy J.B., Rice R.J., Stokes T.R., Keppie D.F. (1995) The St. Marys Basin, central mainland Nova Scotia: Late Paleozoic basin formation and deformation along the Avalon-Meguma Terrane boundary, Canadian Appalachians. *New perspectives in the Caledonian-Appalachian orogen* (Eds) Hibbard J.P., van Staal C.R., Cawood P. Geol. Ass. Canada. Special Paper. (41), 409-420.
- Ngueutchoua G., Ngantchu L.D., Youbi M., Ngos III S., Beyala V.K.K., Yifomju K.P., Tchamgoué J.C. (2017) Geochemistry of Cretaceous Mudrocks and Sandstones from Douala Sub-Basin, Kumba Area, South West Cameroon: Constraints on Provenance, Source Rock Weathering, Paleo-Oxidation Conditions and Tectonic Environment. *Int. J. Geosci.* **8**, 393-424.
- Paikaray S., Banerjee S., Mukherji S. (2008) Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. *J. Asian Earth Sci.* **32**, 34-48.
- Perri F., Caracciolo L., Cavalcante F., Corrado S., Critelli S., Muto F., Dominici R. (2015) Sedimentary and thermal evolution of the Eocene-Oligocene mudrocks from the southwestern Thrace Basin (NE Greece). *Basin Res.* **28**, 319-339.
- Perri F., Critelli S., Mongelli G., Cullers R.L. (2011) Sedimentary evolution of the Mesozoic continental redbeds using geochemical and mineralogical tools: the case of Upper Triassic to Lowermost Jurassic Monte di Gioiosa mudrocks (Sicily, southern Italy). *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* **100**, 1569-1587.
- Perri F., Ohta T. (2014) Paleoclimatic conditions and paleoweathering processes on Mesozoic continental redbeds from Western-Central Mediterranean Alpine Chains. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **395**, 144-157.
- Pundaree N., Krishna A.K., Subramanyam K.S.V., Sawant S.S., Kavitha S., Kalpana M.S., Patil D.J., Dayal A.M. (2015) Early Eocene carbonaceous shales of Tadkeshwar Formation, Cambay basin, Gujarat, India: Geochemical implications, petrogenesis and tectonics. *Marine and Petroleum Geol.* **68**, 258-268.
- Raza M., Casshyap S.M., Khan A. (2002) Geochemistry of Mesoproterozoic Lower Vindhyan Shales from Chittaurgarh, Southeastern Rajasthan and its Bearing on Source Rock Composition, Palaeoweathering Conditions and Tectono-sedimentary Environments. *J. Geol. Soc. India.* **60**, 505-518.
- Raza M., Dayal A.M., Khan A., Bhardwaj V.R., Rais S. (2010) Geochemistry of lower Vindhyan clastic sedimentary rocks of Northwestern Indian shield: Implications for composition and weathering history of Proterozoic continental crust. *J. Asian Earth Sci.* **39**, 51-61.
- Roser B.P., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.* **94**, 635-650.
- 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.
- Sengör A.M.C. (1995) Sedimentation and tectonics of fossil rifts. *Tectonics of Sedimentary Basins* (Eds) Busby C.J., Ingersoll R.V. Oxford: Blackwell, 53-117.
- Sengör A.M.C., Natal'in B.A. (2001) Rifts of the world. *Mantle plumes: their identification through time* (Eds) Ernst R.E., Buchan K.L. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. **352**, 389-482.
- Tao H., Sun S., Wang Q., Yang X., Jiang L. (2014) Petrography and geochemistry of lower Carboniferous greywacke and mudstones in Northeast Junggar, China: Implications for provenance, source weathering, and tectonic setting. *J. Asian Earth Sci.* **87**, 11-25.
- Toulkeridis T., Clauer N., Kroner A., Reimer T., Todt W. (1999) Characterization, provenance, and tectonic setting of Fig Tree greywackes from the Archaean Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Sed. Geol.* **124**, 113-129.
- Vdačný M., Vozárová A., Vozár J. (2013) Geochemistry of the Permian sandstones from the Malužiná Formation in the Malé Karpaty Mts (Hronic Unit, Western Carpathians, Slovakia): implications for source-area weathering, provenance and tectonic setting. *Geol. Carpathica.* **64**(1), 23-38.
- 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**, 117-133.
- von Eynatten H.V. (2003) Petrography and chemistry of sandstones from the Swiss Molasse Basin: an archive of the Oligocene to Miocene evolution of the Central Alps. *Sedimentology.* **50**, 703-724.
- Wade B.P., Hand M., Barovich K.M. (2005) Nd isotopic and geochemical constraints on provenance of sedimentary rocks in the eastern Officer Basin, Australia: implications for the duration of the intracratonic Petermann Orogeny. *J. Geol. Soc. (London)* **162**, 513-530.
- Zaghloul M.N., Critelli S., Perri F., Mongelli G., Perrone V., Sonnino M., Tucker M., Aiello M., Ventimiglia C. (2010) Depositional systems, composition and geochemistry of Triassic rifted-continental margin redbeds of the Internal Rif Chain, Morocco. *Sedimentology.* **57**, 312-350.
- Zaid S.M. (2013) Genesis of the Nukhul sandstones, west central Sinai, Egypt. *J. Appl. Sci. Res.* **9**(1), 375-392.